

VESIHALLITUS—NATIONAL BOARD OF WATERS, FINLAND

Tiedotus
Report

162

JUHANI PUOLANNE

TUTKIMUKSIA STABILOINNIN VAIKUTUKSISTA JÄTEVESILIETTEEN LAATUUN

English summary: Studies on the Effects of Stabilization on the Quality of Waste
Water Sludge

HELSINKI 1978

ISBN 951-46-3749-6
ISSN 0355-0745

TUTKIMUKSIA STABILOINNIN VAIKUTUKSISTA JÄTEVESILIETTEEN LAATUUN

SISÄLLYS

	Sivu
ALKUSANAT	7
1. Johdanto	8
1.1 COST-68 projektin kansainvälinen toteutus	8
1.2 Lietetutkimusten toteuttaminen Suomessa	9
2. Lietteiden stabilointi	11
2.1 Määritelmiä	11
2.11 Jätevesiliete	11
2.12 Stabilointi	13
2.2 Määdätys	13
2.21 Määritelmä	13
2.22 Teoriaa	14
2.23 Käytännön ratkaisut	15
2.24 Käytännön tulokset	16
2.25 Johtopäätökset	17
2.3 Lahotus	18
2.31 Määritelmä	18
2.32 Teoriaa	18
2.33 Käytännön ratkaisut	23
2.34 Vaikutus puhdistusprosessiin	27
2.35 Vaikutus lietteiden kuivaukseen	28
2.36 Johtopäätökset	29
2.4 Kalkkistabilointi	29
2.41 Määritelmä	30
2.42 Teoriaa	30
2.43 Käytännön ratkaisut	31
2.44 Poltetun kalkin käyttö	33
2.45 Johtopäätökset	33
2.5 Stabiloinnin arviointi	34
2.51 Lietteen hajun tutkimus	34
2.511 Menetelmät	34
2.512 Tulokset	34
2.513 Johtopäätökset	36

		Sivu
2.52	Lietteen aktiivisuuden tutkiminen	36
2.521	Menetelmät	37
2.522	Tulokset	37
2.523	Johtopäätökset	40
2.53	COST-68 projektin suositukset	42
2.531	Mädätys	42
2.532	Lahotus	42
2.533	Kalkkistabilointi	43
3.	Kalkkistabilointitutkimus	43
3.1	Koeolosuhteet	43
3.2	Menetelmät	44
3.3	Tulokset	44
3.31	Tiivistämätön liete	44
3.311	Koejärjestelyt	45
3.312	Tulokset	45
3.32	Tiivistetty liete	49
3.321	Koejärjestelyt	49
3.322	Tulokset	49
3.33	Kuivattu liete	52
3.331	Koejärjestelyt	52
3.332	Tulokset	52
3.4	Johtopäätökset	57
4.	Stabiloinnin vaikutus lietteen koostumukseen	62
4.1	Yleistä	62
4.2	Tutkitut puhdistamot	64
4.3	Tutkitut parametrit	64
4.4	Menetelmät	65
4.5	Tulokset	65
4.6	Johtopäätökset	67
5.	Stabiloinnin vaikutus lietteen taudinaiheuttajiin	67
5.1	Suolistobakteerit ja patogeeniset bakteerit	68
5.11	Patogeeniset bakteerit	70
5.12	Kirjallisuuskatsaus stabiloinnin vaikutuksiin	72
5.121	Mädätys	72
5.122	Lahotus	75
5.123	Kalkkistabilointi	76
5.13	Bakteerien aiheuttama haitta lietteen hyödyntämiselle	80

	Sivu
5.131 Bakteerien säilyminen maassa	80
5.14 Tutkitut puhdistamot	82
5.141 Määtys	82
5.142 Lahotus	83
5.143 Kalkkistabilointi	83
5.15 Määritysmenetelmät	85
5.151 Näytteenotto ja homogenisointi	85
5.152 Laimennussarja	85
5.153 Koliformit	86
5.154 <u>Clostridium perfringens</u>	87
5.155 Salmonellat	87
5.16 Tulosten laskeminen	89
5.17 Tulosten tarkastelu	90
5.171 Määtys	90
5.172 Lahotus	92
5.173 Kalkkistabilointi	92
5.174 Salmonella-serotyypit	94
5.18 Johtopäätökset	95
5.2 Loisten munat	96
5.21 Loiset	98
5.22 Tutkitut puhdistamot	98
5.23 Määritysmenetelmät	99
5.24 Tulosten käsittely	100
5.25 Tulokset	101
5.26 Tutkimusmenetelmien arviointia	102
5.27 Johtopäätökset	104
5.3 Virukset	105
5.31 Yleisimmät virukset	106
5.32 Tutkitut puhdistamot	106
5.33 Tutkimusmenetelmät	106
5.34 Tulokset	107
5.35 Johtopäätökset	108
6. Yhteenveto	108
6.1 Stabilointimenetelmien käyttökokemuksia	108
6.2 Lietteen stabiilisuus	109
6.3 Kalkkistabilointitutkimus	110
6.4 Stabiloinnin vaikutus lietteen koostumukseen	111
6.5 Stabiloinnin vaikutus lietteen taudinaiheuttajiin	111
6.51 Suolistobakteerit ja patogeeniset bakteerit	111
6.52 Loisten munat	112

- 6.53 Virukset
- 6.6 Tutkimustulosten hyödyntäminen

English summary

Kirjallisuusluettelo

Liitteet

A L K U S A N A T

Tämän raportin kolme ensimmäistä lukua sisältävät Euroopan teknologiayhteistyön lieteprojektin COST 68 (European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research, Project 68 "Sludge Processing") suomalaisten tutkimusten tuloksia. Raportin loppuosassa selostetaan Cost 68 jatkoprojektin tutkimuksia.

Tutkimukset on tehty vesientutkimuslaitoksen teknillisessä tutkimustoimistossa vuosina 1974 - 1976 kauppa- ja teollisuusministeriön rahoittamina. Tutkimusten ohjaukseen on osallistunut asiantuntijoista kokoonpantuja työryhmiä.

Tämä raportti on laadittu useiden eri henkilöiden tekemien osaraporttien pohjalta. Osaraportteja ovat kirjoittaneet vesihallituksen toimeksiannosta DI Seppo Kiiskinen (Helsingin kaupungin rakennusvirasto), os.pääll. Arto Salokangas (UPO OY) ja DI Jorma Nieminen (A. Ahlström Oy). LuK Ritva Ahokas, FK Ann-Maj Karjalainen, DI Armi Tukia ja DI Hannu Vikman ovat tehneet työtä ja osaraportteja vesihallituksen palkkaamina. Lieteanalyyseistä ovat edellisten lisäksi vastanneet kem.tekn. Sirkka-Leena Hellman (vesihallitus), dos. Kaisa Lapinleimu (Kansanterveyslaboratorion keskuslaboratorio) ja eläinlääkäri Raija Schildt (Valtion eläinlääketieteen laitos).

1. J O H D A N T O

Vedestä poistuvista lika-aineista syntyy jätevesiä puhdistettaessa lietettä, jonka käsittely, kuljetus, varastointi ja lopullinen sijoittaminen saattavat aiheuttaa runsaasti ongelmia. Tavallisimmin lietteen aiheuttama ongelma on hajuhaitta, vaikka se itse asiassa on nopeasti ohimenevä ilmiö eikä aiheuta ympäristölle varsinaista vaaraa. Hajuhaittoja vähentämällä voidaan olennaisesti vähentää lietettä kohtaan tunnettuja ennakokuluja ja lietteen hyväksikäytön käytännön esteitä. Hajuhaittoja pyritään torjumaan sisällyttämällä lietteen käsittelytoimenpiteisiin puhdistamalla stabilointi. Hajun vähenemisen tai muuttamisen ohella stabilointi vaikuttaa lietteen kemiallisiin ja biologisiin ominaisuuksiin. Tässä raportissa selostetaan näihin kysymyksiin kohdistettujen tutkimusten tuloksia.

1.1 COST 68 PROJEKTIN KANSAINVÄLINEN TOTEUTUS

Euroopan maiden teknologiayhteistyö alkoi vuonna 1971 ja siihen kuuluu tieteen ja tekniikan eri aloja. Lietteiden ominaisuuksia ja käsittelyä tutkiva liete-projekti COST 68 sisältyi tämän yhteistyön ympäristönsuojelualaan. Projekti käynnistyi vuoden 1972 loppupuolella ja sen kestoajaksi sovittiin kaksi vuotta. Projektin osanottajamaat olivat Belgia, Englanti, Hollanti, Italia, Jugoslavia, Saksan Liittotasavalta, Norja, Ranska, Ruotsi, Sveitsi, Tanska, Turkki ja Suomi.

Projekti keskittyi aluksi vain asumisjätevesilietteisiin. Projektin ensimmäinen tehtävä oli yhdenmukaistaa ja kehittää lietteiden tutkimusmenetelmiä osanottajamaissa. Erillisenä tutkimuskohteena oli lietteiden poltto. Projekti jakautui kolmeen rinnakkaiseen alaprojektiin, joita suoritettiin samanaikaisesti:

- 68/1 Lietteiden analyysimenetelmien standardisointi
- 68/2 Lietteiden tutkimusmenetelmien kehittäminen
- 68/3 Lietteiden polttomenetelmien kehittäminen

Projektin ylimpänä hallintoelimenä toimi COST 68 hallintokomitea, johon kuului kunkin osanottajamaan virallinen edustaja ja asiantun-

tijoita. Brysselissä kokoontuvan hallintokomitean alaisena oli kolme alakomiteaa, joista kukin vastasi edellämäinituista alaprojek-teista.

Tämän raportin tutkimukset, samoin kuin muutkin Suomessa suorite-tut tutkimukset, liittyvät alaprojektiin 68/2. Stabiloointitutkimus-ten vetäjänä toimi norjalainen tutkimuslaitos Norsk Institutt for Vannforskning. Tutkimusten tavoitteena oli lietteen stabiilisuuden määrittely ja siihen soveltuvien tutkimusmenetelmien kehittäminen. Ongelmana oli sekä lietteen hajun mittaaminen että sellaista tar-kasti mitattavien kemiallisten tai fysikaalisten parametrien etsi-minen, jotka korreloisivat lietteen jossakin määrin subjektiivisen ja hankalasti suoritettavan hajutestin tulosten kanssa. Menetel-mien piti olla helppokäyttöisiä myös kentän olosuhteissa, jotta lietteen stabiloinnin ennustamista voitaisiin seurata tehokkaasti.

1.2 LIETETUTKIMUSTEN TOTEUTTAMINEN SUOMESSA

Suomi liittyi COST 68 sopimukseen toukokuussa 1972. Samana vuonna istunut COST-toimikunta asettui mietinnössään kannattamaan jo aloi-tetun yhteistyön jatkamista.

COST 68 yhteistyö rahoitettiin kauppa- ja teollisuusministeriön kansainväliseen yhteistyöhön osoitetuista budjettivaroista. Lie-teprojektiin COST 68 osallistuminen annettiin vesihallitukselle tutkimussopimuksella, joka solmittiin kauppa- ja teollisuusminis-teriön ja vesihallituksen välille.

Vesihallitus kutsui lieteprojektin ylimmäksi johtoelimeksi arvo-valtaisen COST 68 johtoryhmän, jonka kokoonpanoksi tuli:

DI	Heino Leskelä	(pj)	UPO Oy
DI	Folke Andresen		Turun kaupungin keskuspuhdistamo
TkT	Eero Kajosaari		HTKK
DI	Aarno Kavonius		Teollisuuden Keskusliitto
FT	Pekka Linko		Kauppa- ja teollisuusministeriö
TkL	Raimo Määttä		HTKK
TkL	Kaapo Passinen		Keskuslaboratorio Oy
DI	Jali Ruuskanen		SITRA
TkL	Matti Viitasaari		Vesihallitus

FK	Ilkka Viitasalo	HKR, vesilaboratorio
DI	Juhani Puolanne	(siht) Vesihallitus

Johtoryhmä hyväksyi tutkimusohjelman ja budjetin sekä päätti edelleen kutsua kuusi asiantuntijoista muodostettua jaostoa ohjaamaan tutkimuksia. Lietteen stabilointia käsittelevään jaostoon kuului-

DI	Aarno Kavonius (pj)	Teollisuuden Keskusliitto
DI	Folke Andresen	Turun kaupungin keskuspuhdistamo
FM	Leena Aulio	HKR, Kyläsaaren laboratorio
TkL	Pertti Kantanen	Maa ja Vesi Oy
DI	Seppo Kiiskinen	HKR, Kyläsaaren laboratorio
DI	Jorma Nieminen	A. Ahlström Oy
DI	Heikki Pietilä	Vesi-Hydro Oy
Os.pääll.	Arto Salokangas	UPO Oy
DI	Antti Uitti	Tampereen kaupungin teknilliset virastot
DI	Juhani Puolanne (siht)	Vesihallitus

Jaosto ohjasi tutkimustyötä, jonka sisällöksi tuli stabilointimethodien käyttökokemusten kerääminen ja stabiilisuutta koskevien tutkimusmenetelmien kokeilu.

COST 68 projektin päätyttyä vuoden 1975 alussa päätettiin, että vesihallitus anois kauppa- ja teollisuusministeriöltä varoja vuodeksi 1975 toteuttaakseen jatkoprojektin, jonka tavoitteena oli lietteen laatuksymysten selvittäminen. YVY-projektissa oli parhaillaan alkamassa lietteen hyväksikäytön yleissuunnittelu ja hyväksikäyttöohjeiden laadinta, joka tarvitsi tietoa eri tavoin käsiteltyjen lietteiden ominaisuuksista. Keskeiseksi kysymykseksi osoittautuivat stabiloinnin vaikutukset. Jatkoprojektin tavoitteena oli myös COST 68 projektin tulosten käsittely ja uuden kansainvälisen lieteprojektin valmisteluun osallistuminen.

Määrärahojen myöntämisen jälkeen vesihallitus kutsui jatkoprojektille uuden johtoryhmän, joka oli kokoonpanoltaan seuraava:

DI	Heino Leskelä	(pj)	UPO Oy
DI	Aarno Kavonius		Teollisuuden Keskusliitto

DI	Eero Laukkanen	Vesihallitus
DI	Tapio Marimo	Kauppa- ja teollisuusministeriö
DI	Veli-Matti Tiainen	SITRA, YVY-projekti
FK	Ilkka Viitasalo	HKR, vesilaboratorio
DI	Juhani Puolanne (siht)	Vesihallitus
Ins.	Taira Sarantila (") "	

Lietteiden hygieenistä tilaa koskevia tutkimuksia ohjaamaan muodostettiin työryhmä:

DI	Juhani Puolanne (pj)	Vesihallitus
Dos.	Kaisa Lapinleimu	Kansanterv.lab. keskuslaboratorio
Agr.	Heikki Latostenmaa	SITRA, YVY-projekti
MMK	Maarit Niemi	HY, mikrobiologian laitos
MMK	Ilkka Rinne	HKR, vesilaboratorio
MMT	Harri Seppänen	Helsingin kaupungin vesilaitos
Ylitark.	Pentti Sippo	Lääkintöhallitus
FK	Markku Wikström	Åbo Akademi, parasitologian laitos
Ins.	Taira Sarantila (siht)	Vesihallitus

Työryhmän kokouksiin osallistuivat myös lieteprojektin muut työntekijät.

2. LIETTEEN STABILOINTI

2.1 MÄÄRITELMIÄ

2.11 Jätevesiliete

Jätevesiliete syntyy jätevedenpuhdistamolla erotettaessa lika-aineita jätevedestä. Puhdistusmenetelmästä riippuen voidaan puhua mekaanisesta, biologisesta tai kemiallisesta lietteestä - käytännössä lisäksi useimmiten sekalietteestä, jossa on mukana ainakin kahta em. lietetyypeistä.

Mekaanisessa puhdistuksessa erotetaan karkeat, kiinteinä partikkelina olevat aineet. Mekaanisen puhdistuksen pääasiallisin tulos on jäteveden esteettisen laadun paraneminen. Mekaanisen puhdistuk-

sen tavallisimmat käsittelyvaiheet ovat välppäys, hiekanerotus ja selkeytys. Selkeyttämössä sedimentoituvat hiukkaset muodostavat mekaanisen lietteen, jota nimitetään myös primäärilietteeksi. Mekaaniselle lietteelle tyypillisiä ominaisuuksia ovat tiiveys, mätänemisalttius sekä sitkeydestä ja kuitumaisista partikkeleista johtuva huono juoksevuus.

Biologisessa puhdistusprosessissa käytetään hyväksi vedessä eläviä mikro-organismeja, jotka mineralisoivat jäteveden sisältämiä orgaanisia jäteaineita siten, että ne voidaan erottaa vedestä fysikaalisin keinoin. Vesistön primäärikuormituksen aiheuttamasta orgaanisesta aineesta saadaan biologisin menetelmin poistetuksi merkittävä osa. Biologisia puhdistusmenetelmiä ovat biologinen suodatus, aktiiviliettemenetelmä sekä jäteveden lammikointi. Biologiset lietteet ovat erittäin herkästi juoksevia, mihin suuren vesipitoisuuden ohella vaikuttaa sitkeyttä aiheuttavien aineiden puuttuminen.

Jäteveden kemiallisessa käsittelyssä poistetaan tai neutraloidaan jätevedessä olevia haitallisia aineita erilaisten kemikaalien avulla. Kemiallisella puhdistuksella saadaan jätevedestä poistetuksi myös liukoisia aineita. Tällä tavoin saadaan myös vesistön rehevöitymistä edistävän fosforin määrä merkittävästi vähenemään. Kemiallinen käsittely voidaan liittää mekaaniseen tai biologiseen käsittelyyn. Saostuskemikaalista ja kemikaalin syöttökohdasta riippuen voidaan nimetä erilaisia kemiallisia prosesseja, joista tavallisimmat ovat suora saostus, esisaostus, simultaanisaostus ja jälkisaostus. Kemiallisen lietteen koostumus ja ominaisuudet vaihtelevat kemikaalista ja saostusmenetelmästä riippuen.

Karkea kuva tietyn lietteen ominaisuuksista voidaan antaa selostamalla prosessia, josta liete on peräisin. Menetelmän käyttöä haittaa kuitenkin vallitseva terminologinen epätasällisyys. Samallakin puhdistamalla voi sitä paitsi lietteen määrä ja laatu vaihdella sääolosuhteiden, vuodenaikojen, puhdistamolle tulevan jäteveden, puhdistamon hoidon ym. tekijöiden vaikutuksesta.

Täsmällisimmin lietteen ominaisuuksia voidaan kuvata käyttämällä erilaisia fysikaalisia ja kemiallisia määritysmenetelmiä. COST 68 pro-

jektissa pyrittiin yhtenäistämään näiden lisäksi uusia menetelmiä lähinnä lietteen käsittelyominaisuuksien arvioimiseksi. Tässä raportissa on noudatettu em. ehdotuksen mukaisia menetelmiä ja merkintöjä paitsi että kuiva-aineelle ja kiintoaineelle on käytetty yleisempiä merkintöjä TS ja SS /4/.

2.12 S t a b i l o i n t i

Lietteenkäsittelyllä pyritään tavallisesti lietteen määrän pienentämiseen sekä lietteen saattamiseen hyväksikäytön kannalta edulliseen tai muun sijoittamisen kannalta vähintään ympäristölle haitattomaan muotoon. Käsittelytoimenpiteet kohdistuvat lietteen vesimäärän, hajun tai taudinaiheuttajien lukumäärän vähentämiseen.

Lietteen stabilointi määritellään toimenpiteiksi, joilla liete saatetaan sellaiseen tilaan, että se ei haise /4/. Tällöin tavallisesti nestemäisessä lietteessä tapahtuva biologinen pahanhajuisia kaasuja tuottava toiminta joko saatetaan loppuun (pysyvä stabilointi) tai keskeytetään (tilapäinen stabilointi). Pysyvässä stabiloinnissa orgaanisen aineen määrä vähenee ja syntyy vettä ja kaasuja. Samalla myös lietteen määrä vähenee ja siitä voidaan erottaa vettä selkeyttämällä. Pysyvä stabilointivaikutus saadaan aikaan lietteen mädätyksessä ja lahotuksessa. Tilapäinen stabilointi saavutetaan lisäämällä lietteeseen sopivaa kemikaalia, tavallisimmin kalkkia. Tällöin lietteen määrä lisääntyy. Stabilointi on tarpeen, jos lietteen määrät ovat hyvin suuria tai lietettä joudutaan käsittelemään, kuljettamaan tai levittämään asutuksen läheisyydessä /42, 44/.

Lietteen stabiilisuuden arvosteluun sopivia kriteereitä ja menetelmiä kehitettiin COST 68 projektin kuluessa. Niitä on esitetty luvussa 2.53 /4/.

2.2 M Ä D Ä T Y S

2.21 M ä ä r i t e l m ä

Mädätyksellä eli anaerobisella stabiloinnilla tarkoitetaan lietteen käsittelyä suljetussa hapettomassa tilassa, missä mikro-organismit

hajoittavat lietteen sisältämiä orgaanisia aineita monivaiheisena prosessina, jonka lopputuotteena syntyy metaania ja hiilidioksidia sisältävää kaasua / 38/.

2.22 T e o r i a a

Mädätyksen lietettä stabiloiva vaikutus perustuu lietteen sisältämien orgaanisten aineiden hajoamiseen. Orgaanisten aineiden hajoaminen mädätyksessä tapahtuu monimutkaisten biokemiallisten reaktioiden kautta. Yleisesti ottaen voidaan kuitenkin mädätysprosessin katsoa muodostuvan kahdesta vaiheesta.

Ensimmäisessä vaiheessa fakultatiivisesti anaerobiset haponmuodostajabakteerit hajottavat suurimolekyyllisiä orgaanisia yhdisteitä orgaanisiksi hapoiksi. Toisessa vaiheessa muuttavat puolestaan obligatorisesti anaerobiset metaanibakteerit syntyneet orgaaniset hapot metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Näistä kahdesta vaiheesta on metaanibakteeritoiminta huomattavasti herkempi mahdollisille mädätyksen aikana ilmeneville kemiallisille ja fysikaalisille häiriöille. Koska lietteen tehokas stabilointi mädätyksessä riippuu pääasiallisesti metaanibakteerien täysitehoisesta toiminnasta, joudutaan mädätys suorittamaan sellaisissa olosuhteissa, jotka takaavat ihanteelliset olosuhteet metaanibakteereille.

Mädätyksen tehokkuuteen vaikuttavat olosuhdeparametrit ovat pH, orgaanisten happojen määrä, alkaalisuus, redox-potentiaali, lämpötila, ravinteet ja toksiset aineet. Kun mädätysprosessi pyritään toteuttamaan optimiolosuhteissa tulisi parametrien arvojen olla seuraavat: pH:n tulee olla välillä 6,8 - 7,4, mieluiten 7,0 orgaanisten happojen määrän etikkahappona (CH_3COOH) mitattuna tulisi olla $< 500 \text{ mg/l}$, alkaalisuuden kalsiumkarbonaattina (CaCO_3) laskettuna tulisi olla $> 1000 \text{ mg/l}$ ja redox-potentiaalin tulisi olla mädätyksessä $-0,2 \dots -0,3 \text{ V}$ vetyelektrodin suhteen. Lämpötilan tulee olla $33 - 37^\circ\text{C}$ välillä, mieluiten 35°C . Metaanibakteerien makro- ja mikroravinnetarpeen tulee olla tyydytetty. Toksisten aineiden kuten raskaiden ja muiden metallien, sulfidien, pinta-aktiivisten aineiden sekä eräiden orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksien tulee olla niin pieniä, etteivät ne aiheuta häiriöitä mädätysprosessille.

2.23 Käytännön ratkaisut

Jätevedenpuhdistamoilla tapahtuu lietteen anaerobinen stabilointi yleensä erillisissä betonisäiliöissä, jotka ovat sekä kaasutiiviitä että lämpöeristettyjä ja jotka on varustettu lietteen syöttö-, kierätys-, poisto-, sekoitus-, lämmitys- ja kaasunkeräyslaitteilla. Mädätystä käytetään nykyisin yhä yleisemmin kaksivaiheisena, jolloin mädätys säiliöitä on oltava vähintään kaksi ja niitä käytetään sarjassa. Varsinainen mädätys tapahtuu ensimmäisessä säiliössä toisen säiliön toimiessa pääasiallisesti mädätetyn lietteen tiivistämönä. Kaksivaihemädätyksen etuna on se, että lyhyellä viiveellä eli pienemmällä mädätystilavuudella päästään samaan mädätystulokseen kuin käytettäessä yhtä mädätys säiliötä. Näin on stabilointitehosta tinkimättä päästy myös taloudellisesti ja teknillisesti edullisempaan ratkaisuun. Yleensäkin pyritään mädättämöt suunnittelemaan siten, että mädätyksen kannalta optimaaliset olosuhteet kyetään ylläpitämään kaikissa käyttötilanteissa. Tähän päästäkseen kiinnittävät suunnittelijat mädättämöratkaisuihinsa erityistä huomiota mm. seuraaviin seikkoihin:

- mädättämöön syötettävän raakalietteen tulisi olla esitiivistettyä ja syötön tulisi tapahtua säännöllisesti
- mädättämön tulee olla mitoitettu riittävän suureksi ja muotoiltu sellaiseksi, että siihen pystytään järjestämään voimakas sekoitus
- mädättämön tulee olla varustettu luotettavilla lämmitysjärjestelmillä
- mädättämön tulee olla varustettu pH:n säätölaitteilla
- näytteenottomenetelmien tulee olla luotettavia.

Huolimatta siitä, kuinka hyvin mädättämöt on suunniteltu, vaaditaan käyttöhenkilökunnalta tarkkaa mädätysprosessin seuraamista, mikäli liete halutaan stabiloida sellaiseen tilaan, ettei siinä enää tapahdu hajuhaittoja aiheuttavia mätänemisilmiöitä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mädätys pyritään viemään niin pitkälle, että 90 % kaikkiaan lietteestä kehittyvästä kaasumäärästä on muodostunut. Kun tämä ns. mädätysraja on saavutettu, on noin 45 - 50 % orgaanisesta aineesta muuttunut kaasuksi. Kehittynyt kaasumäärä on tällöin 0,9 - 1,0 m³ kaasua hajonnutta orgaanista ainekiloa kohden tai 0,4 - 0,5 m³ kaasua mädättämöön syötettyä orgaanista ainekiloa kohden.

Jotta edellämainittuihin arvoihin päästäisiin, tulisi seuraavia parametrejä jatkuvasti seurata: kaasuntuottoa ja sen koostumusta, lämpötilaa ja pH:ta, orgaanisten happojen ja alkaalisuuden suhdetta sekä tietysti orgaanisen aineen reduktiota. Mikäli näin menetellään, pyritään mahdolliset häiriöt ennakoimaan ja suorittamaan tarvittavat korjaustoimenpiteet mädätysprosessin tehokkuuden heikkenemättä oleellisesti.

2.24 Käytännön tulokset

Lähemmän tarkastelun kohteeksi on valittu Herttoniemen, Kyläsaaren ja Viikin mädättämöt, joiden toiminnasta tehdyt päätelmät pohjautuvat vuoden 1972 käyttötilastoihin.

Herttoniemen, Kyläsaaren ja Viikin mädättämöt toimivat kaksivaiheperiaatteella. Herttoniemen jätevedenpuhdistamolla mädätyssäiliöitä on kuitenkin kolme kappaletta. Raakaliete syötetään niistä kahteen ja kolmannessa säiliössä tapahtuu mädätetyn lietteen tiivistäminen. Säiliöiden yhteistilavuus on Herttoniemessä $7\,300\text{ m}^3$. Kyläsaaren ja Viikin mädättämöjen yhteistilavuudet on vastaavasti $17\,200\text{ m}^3$ ja $8\,500\text{ m}^3$. Vuoden 1972 käyttötilastoista on koottu ja laskettu ne parametrit, joita Helsingin kaupungin Herttoniemen, Kyläsaaren ja Viikin jätevedenpuhdistamojen mädätysprosessista normaalisti seurataan. Tulokset on esitetty liitteissä 1 - 3 kustakin mädättämöstä kuukausittain ja vuoden keskiarvoina.

Tuore jätevesiliete Herttoniemessä (liite 1) sisältää keskimääräistä enemmän orgaanista ainetta, sillä orgaanisen aineen määrän suhde epäorgaanisen aineen määrään on 3:1, kun se normaalisti on 2:1. Tästä syystä mädätyksessä saavutettu orgaanisen aineen keskimääräinen reduktio on niinkin korkea kuin 62,3 %.

Kehittyneet kaasumäärät tuntuvat melko hyvin vastaavan niitä arvoja, joita samantyyppisille mädättämöille on esitetty lukuunottamatta joitakin yksittäisiä arvoja, jotka ilmeisesti ovat virheellisiä. Kaasun kehitys vaihtelee voimakkaasti kuukaudesta toiseen, vaikka mädättämön lämpötila ja pH ovat olleet optimaalisia. Yhtenä syynä

voi olla kuormituksen epätasaisuus. Voidaan kuitenkin sanoa, että mädättämöjen toiminta kaiken kaikkiaan on tyydyttävä.

Kyläsaarella (liite 2) on orgaanisen aineen määrän suhde epäorgaanisen aineen määrään lähellä normaalia. Orgaanisen aineen keskimääräinen reduktio 49,9 % osoittaa, että mädätysprosessi toimi vuonna 1972 tyydyttävästi. Kehittyneet kaasumäärät eivät kuitenkaan tue tätä käsitystä. Ainoa mahdollinen selitys on kaasumäärien mittauksien virheellisyys. Tähän selitykseen viittaa sekin, että mädättämön lämpötila ja pH ovat pysyneet lähes vakiona läpi vuoden, joten mädätysprosessissa ei nähtävästi ole esiintynyt häiriöitä. Mädättämön kuormitus vaihteli voimakkaasti kuukaudesta toiseen, mikä luonnollisesti jonkin verran huononsi mädätyksen tulosta.

Viikissä (liite 3) on orgaanisen aineen suhde epäorgaaniseen aineeseen samaa luokkaa kuin Kyläsaarella. Saavutettu orgaanisen aineen keskimääräinen reduktio oli 50,4 %. Mitatut kehittyneen kaasun määrät olivat tässäkin tapauksessa kohtuuttoman pieniä reduktioon nähden. Mädättämön pH pysyi lähes vakiona kautta koko vuoden, vaikka lämpötila vaihtelikin suhteellisen laajoissa rajoissa. Viikin mädättämön kuukausikuormitus oli esimerkkimädättämöistä tasaisin.

2.25 Johtopäätökset

Koska selvityksen käyttökokemukset jouduttiin muodostamaan kokonaan mädättämöiden käyttötilastoista ilmenevien parametrien perusteella ei tulosten tarkempi analysointi ollut mahdollista. Se olisi vaatinut jatkuvaa orgaanisten happojen, alkaalisuuden ja mädätyskaasun koostumuksen seuraamista.

Mädätys on meillä kuten muuallakin osoittautunut erääksi tehokkaimista raakalietteiden stabilointikeinoista. Vaikeasti sijoitettavat hajuhaittoja ja tautivaaraa aiheuttavat raakalietteet saadaan mädätyksessä muutetuksi muotoon, jossa niiden lopullinen sijoittaminen lietemäärän hajuhaittojen ja patogeenien määrän vähennyttyä selvästi helpottuu. Mädätyksen on joissakin tapauksissa katsottu parantavan myös lietteen vedenluovutusominaisuuksia.

Anaerobisen stabilointiprosessin sivutuotteena syntyy metaanikaasua, jonka energiaa voidaan käyttää ja jota myös tulisi käyttää laitoksella hyväksi pienentämään jatkuvasti suurenevia energiakustannuksia. Tästä syystä usein jo klassilliseksi kutsuttu mädätys on edelleen kilpailukykyinen vaihtoehto lietteen stabiloimiseksi keskisuurilla ja suurilla jätevedenpuhdistamoilla.

2.3 LAHOTUS

2.31 M ä ä r i t e l m ä

Lahotuksella eli aerobisella stabiloinnilla ymmärretään tämän esityksen puitteissa puhdistusprosessista poistettavan lietteen hapettamista tavoitteena lietteen saaminen tilaan, jossa siitä aiheutuu mahdollisimman vähän erilaisia haittoja ja lietteen määrä on mahdollisimman pieni. Lietteiden stabiliteettia ei ole valitettavasti voitu yksiselitteisesti mitata eikä analysoida. Kysymyksessä on ollut lähinnä empiirinen käsite, jolle on COST 68 projektissa pyritty löytämään parametreja, joiden avulla se voidaan yksiselitteisesti ilmaista.

Suomessa käytetään aerobista stabilointia varsin yleisesti pienissä ja keskisuurissa jätevedenpuhdistamoissa. Tällöin on lähes kaikissa tapauksissa kysymys joko matala- tai keskikuormitteisen aktiivilieteprosessin ylijäämä- tai sekalietteen, usein simultaanilietteen, aerobista stabiloinnista.

2.32 T e o r i a a

Mikro-organismit ovat aerobisen prosessin alussa ns. logaritmisessa kasvuvaiheessa (kuva 1). Kasvun edellytyksenä ovat sopiva ravintotasapaino ja rajoittamattomat ravintovarastot. Mikro-organismien bakteriologista lisääntymistä rajoittaa tällöin ainoastaan niiden uusiutumiskyky. Logaritmisessa kasvuvaiheessa hapen tarve kasvaa orgaanisen aineen adsorption ja uusien solujen synteesin johdosta.

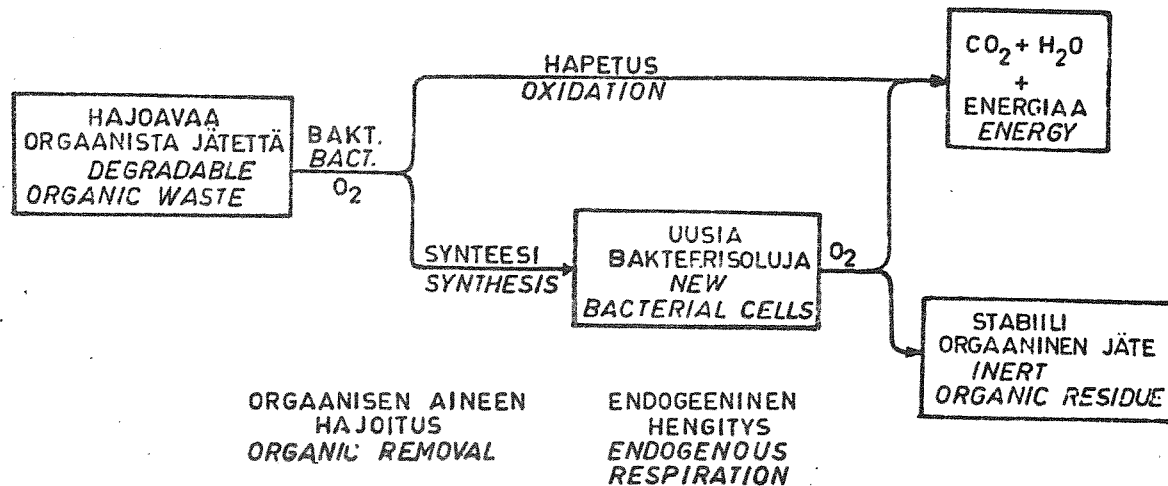
Orgaanisen aineen hapettumisen edistyessä saavutetaan hitaampi kasvuvaihe saatavissa olevan ravinnon rajoitetusta määrästä johtuen, jolloin myös hapentarve vähenee. Endogeeninen metabolia tarkoittaa tilannetta, jossa ravintoa on juuri ja juuri riittävästi pitämään mikro-organismit hengissä.

Jos prosessissa ei ole riittävästi orgaanista ainetta synteessin energialähteeksi, häviävän biomassan määrä ylittää kasvavan määrän. Mikro-organismit saavat tällöin energiansa solujen hajoamistuotteista, jolloin muodostuu hiilidioksidia, vettä ja ammoniakkia. Tätä vettä kutsutaan lahotukseksi tai aerobiksi stabiloinniksi (aerobic digestion). Tapahtuman asemaa aktiivilieteprosessissa selvitetään kuvassa 2.

Liete muodostuu periaatteessa orgaanisesta ja epäorgaanisesta aineesta. Orgaaninen aine puolestaan sisältää hajoamiskelpoisen ja vaikeasti hajoavan osan. Stabiloinnilla pystytään vaikuttamaan vain helposti hajoaviin orgaanisiin aineisiin. Stabilointi hidastuu selvästi, kun jäljellä on enää vaikeasti hajoavia yhdisteitä kuten esimerkiksi ligniiniä ja selluloosaa. On esitetty arvio, että 23 % biologisen lietteen orgaanisesta aineesta on vaikeasti hajoavaa /26/. Lahotuksella päästään käytännössä eri tutkimusten mukaan kuitenkin vain noin 50 % orgaanisen aineen vähenemään.

Jokaisella lietteellä on ominainen tekninen lahotusrajansa, joka voidaan saavuttaa suhteellisen helposti normaalioloissa. Haihdutusjäännöksen vähenemä ei 60 vuorokaudessa ole merkittävästi suurempi kuin jo 15 vuorokauden kuluttua. Tällöin on edellytetty, että lämpötila on noin 15°C. Lämpötila vaikuttaa selvästi tähän hajoamisasteeseen ja -nopeuteen, josta on esimerkit kuvissa 3 ja 4 /22/.

Barnhardt on osoittanut, että lietteen stabilointiominaisuudet riippuvat selvästi puhdistettavan jäteveden laadusta, joka vaikuttaa lietteen orgaanisen aineen hajoamiseen (kuva 6). Kaikissa tapauksissa on riittäväksi lahotusajaksi saatu 15 d /2/. Akers puolestaan toteaa, että 23°C lämpötilassa saavutetaan riittävänä pidettävä kuiva-aineen vähenemä 20 % jo 8 vuorokaudessa. Kiintoaineen, BHK_5 :n ja $KMnO_4$:n vähenemät olivat 30, 60 ja 35 % /1/.



Kuva 1. Orgaanisen jätteen hajoaminen hiilidioksidiksi ja vedeksi sekä stabiiliksi orgaaniksi jätteeksi /31/.

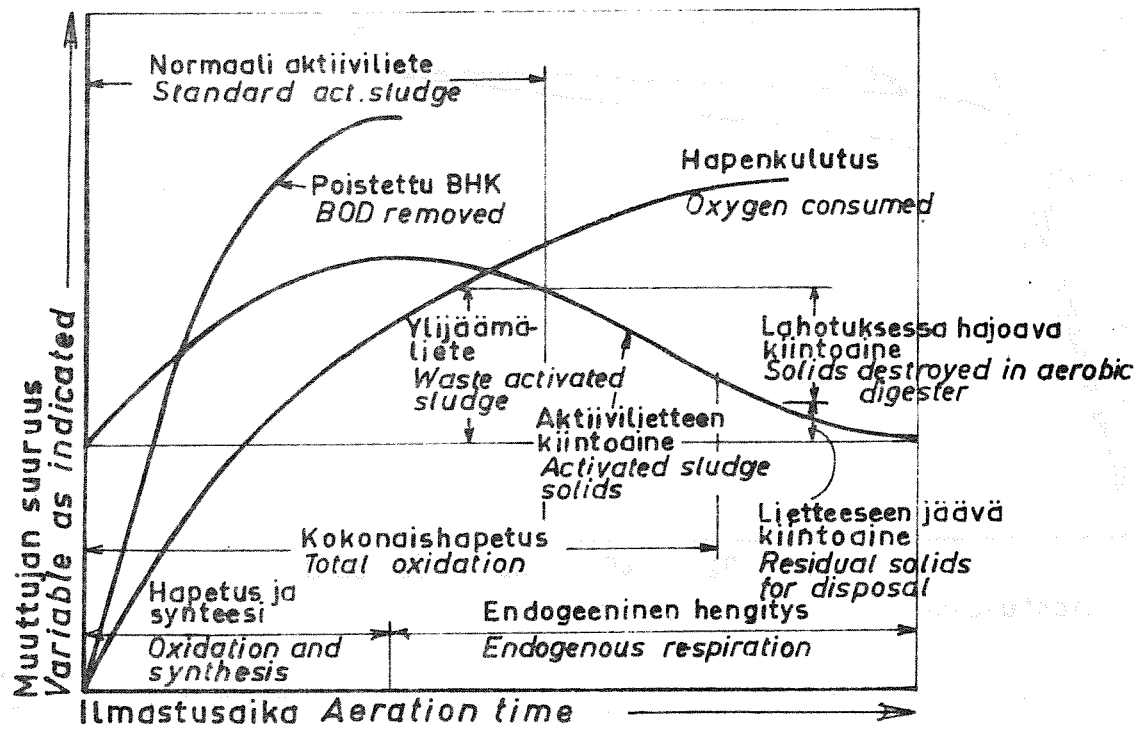
Fig. 1. The conversion of organic waste into carbon dioxide, water and inert organic residue /31/.

Hapentarve riippuu lähinnä orgaanisen aineen hapetusasteesta, ja siitä kuinka pitkälle aktiiviliete halutaan stabiloida. Se riippuu selvästi myös puhdistamolla käytetystä ilmastustavasta.

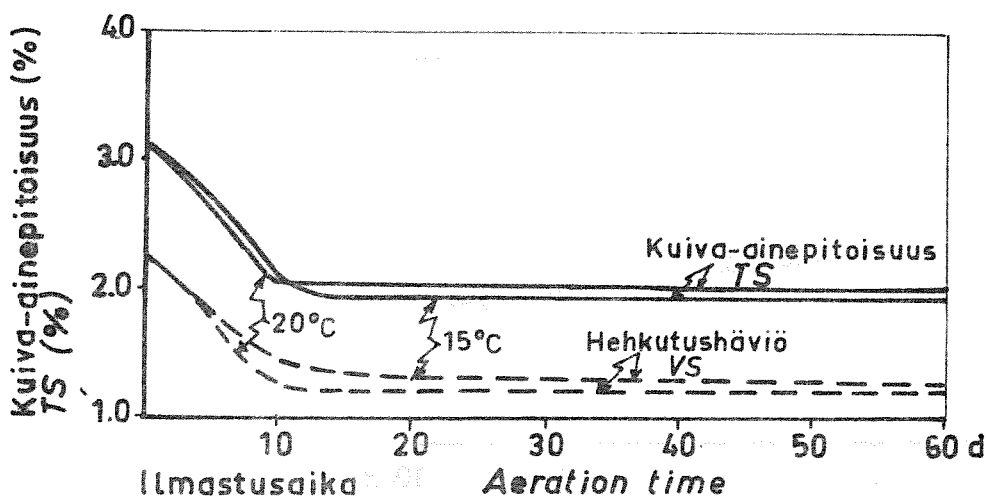
Tyypillistä hapentarvekäyrää panoksittain tapahtuvalle stabiloinnille esittää kuva 5 /2/. Tämä sekä monet muut tutkimukset osoittavat, että panoksittain toimivassa lahotuksessa tarvitaan aluksi runsaasti happea ja että hapentarve laskee enismmäisten vuorokausien kuluessa nopeasti.

Viehl on osoittanut, että nitriittien ja nitraattien muodostumisen alkaessa jäteveden BHK₅-arvo on enää n. 20 mg/l. Kuvassa 7 on esitetty BHK₅, KMnO₄-kulutus, NO₂⁻ ja NO₃⁻ ilmastusajan funktiona /59/.

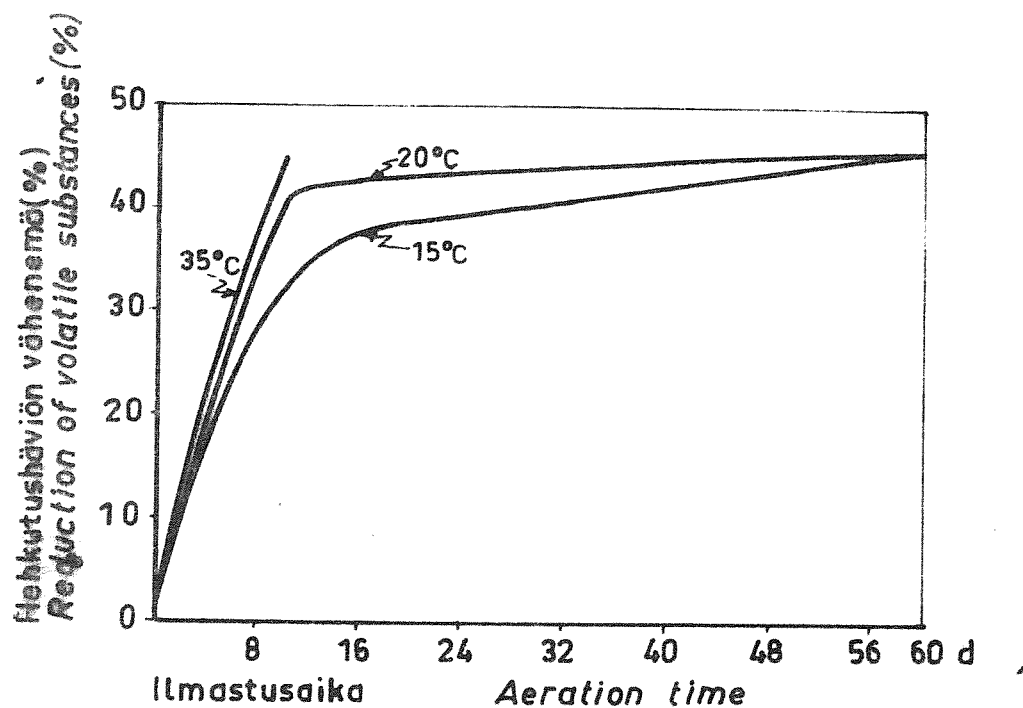
Suorittaessaan raakalietteen pitkäaikaista ilmastusta Viraraghavan toteaa ammoniakkitypen huomattavan vähenemän. Orgaanisen typen hän toteaa vähentyneen huomattavasti enemmän kuin Coackley anaerobissa stabiloinnissa. Viraraghavan toteaa orgaanisten tyyppiyhdisteiden hapettuvan stabiilimmiksi nitriitiksi ja nitraatiksi ja kokonaistypen vähenevän 54 % 20 vrk:ssa. Kuvassa 8 esitetään ammoniakkitypen, orgaanisen typen ja kokonaistypen vähenemät 20 vrk:n ilmastuksen aikana /60/.



Kuva 2. Biologiset tapahtumat jäteveden ilmastusajan funktiona /6/.
 Fig. 2. Biological activity as a function of aeration time /6/.

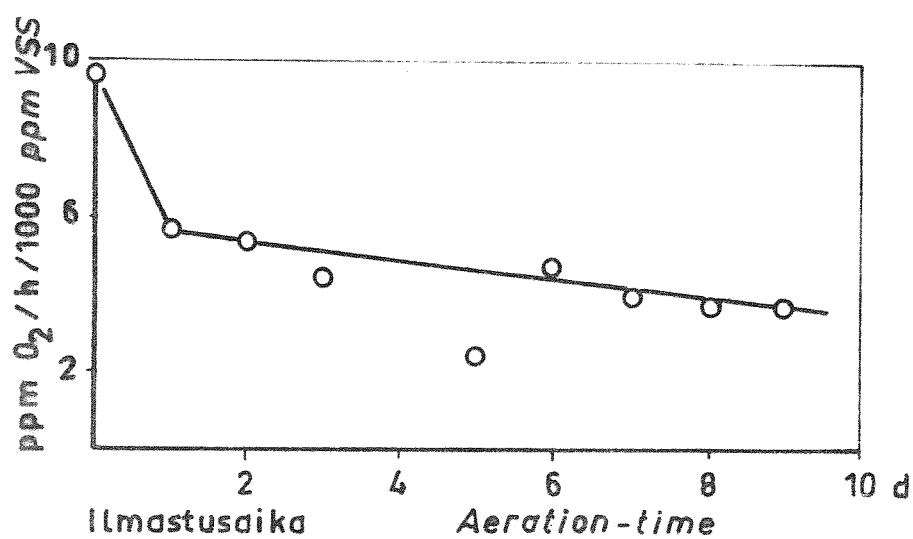


Kuva 3. Kuiva-ainepitoisuus ilmastusajan funktiona /22/.
 Fig. 3. Total solids as a function of aeration time /22/.



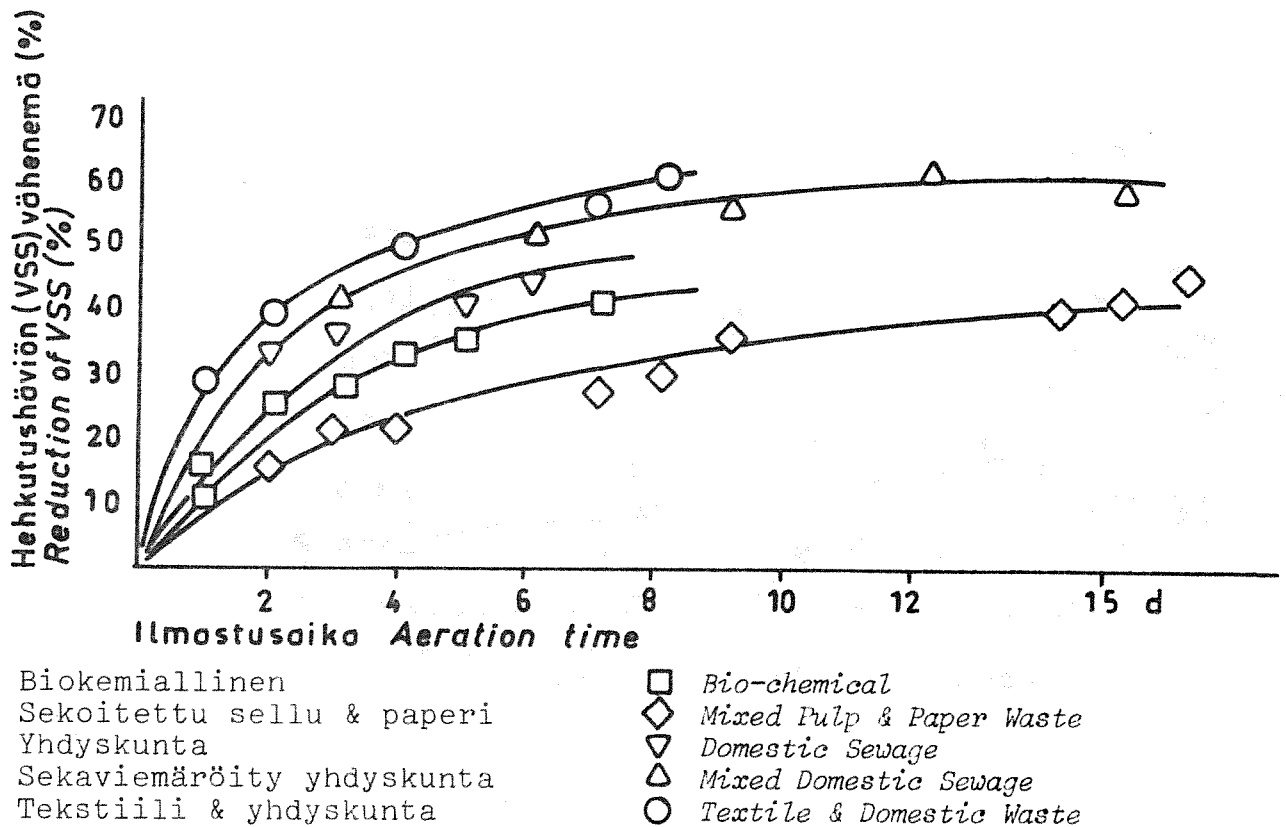
Kuva 4. Hehkutushäviön vähenemä ilmastusajan ja lämpötilan funktiona /22/.

Fig. 4. Reduction of volatile substances as a function of aeration time and temperature /22/.



Kuva 5. Tyypillinen hapentarvekäyrä /2/.

Fig. 5. A typical oxygen utilisation curve /2/.



Kuva 6. Erilaista alkuperää olevien lietteiden hehkutushäviön vähenemä ilmastusajan funktiona /2/.

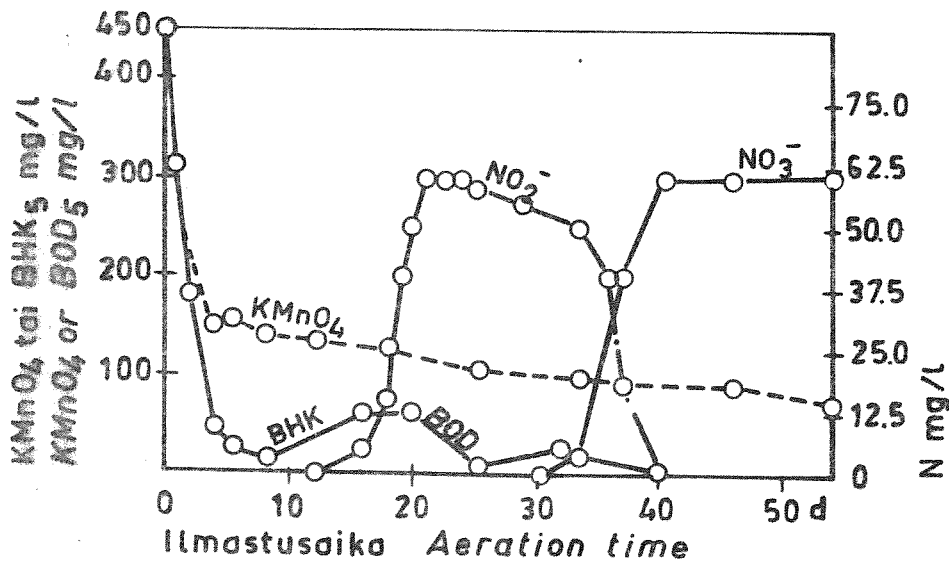
Kuva 6. Reduction of volatile suspended solids as a function of aeration time in sludges from different origins /2/.

Jaworski et al. toteavat, että 60 vrk:n viipymällä muodostuu enemmän kuin 600 mg/l nitraattityppeä. Tämä osoittaa, että nitrifikaatiota tapahtuu alhaisessa pH:ssa, kuva 9 /22/.

Lietteen lahotuksen arviointi on ollut vaikeaa. Kirjallisuudessa esitettyjä tuloksia ei yleensä voi käyttää sellaisenaan, sillä ne perustuvat laboratoriomittakaavaisiin ja panoksittain suoritettuihin kokeisiin. Käyttökelpoisia parametreja näyttäisivät olevan kuiva-aineen ja orgaanisen aineen vähenemät, näihin tarvittava aika ja happimäärä sekä lietteen laskeutuvuus ja tiheys. Muita tärkeitä prosessin kulkua tai palautettavan lieteveden laatua kuvaavia parametreja ovat esimerkiksi pH, alkaliniteetti, ravinteiden pitoisuus, BHK₇ ja KMnO₄-kulutus.

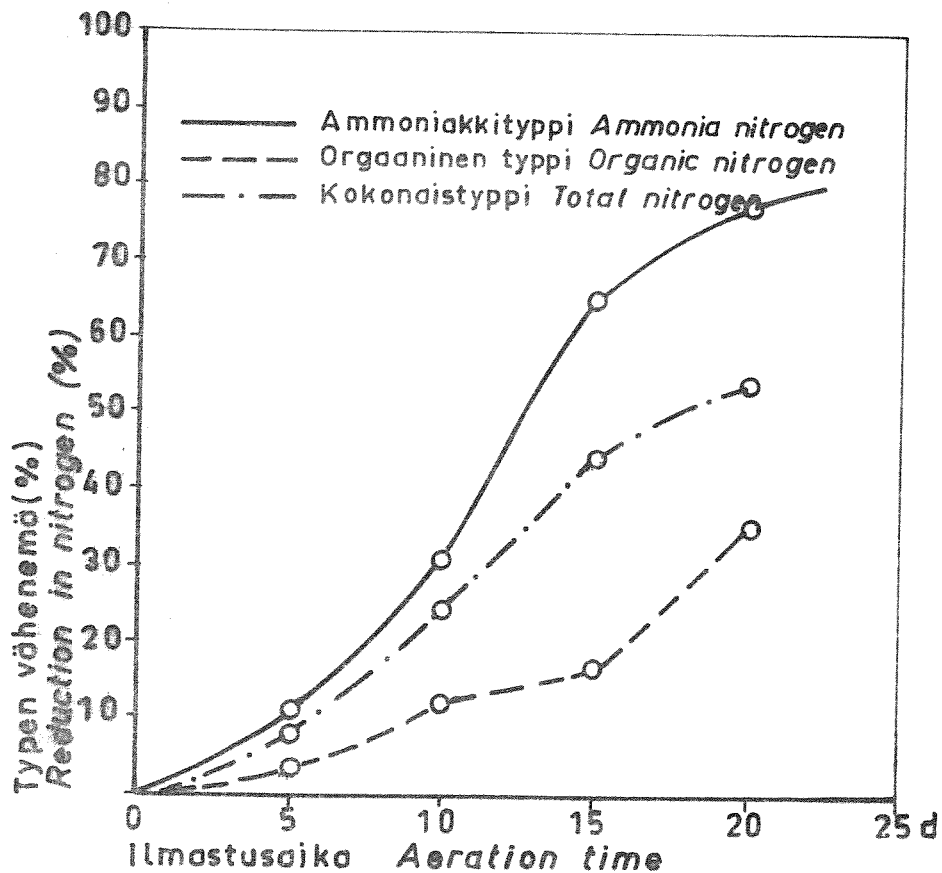
2.33 Käytännön ratkaisut

Periaatteessa lietteen lahotukseen tarvitaan vain hapetettu allas. Teknisenä ratkaisuna voidaan soveltaa esimerkiksi normaalia aktiivilietelaitoksen ilmastusprofiilia ja täysin mielivaltaista käytettävissä olevaa allasta kuten vanhan puhdistamon eri yksiköjä tai van-



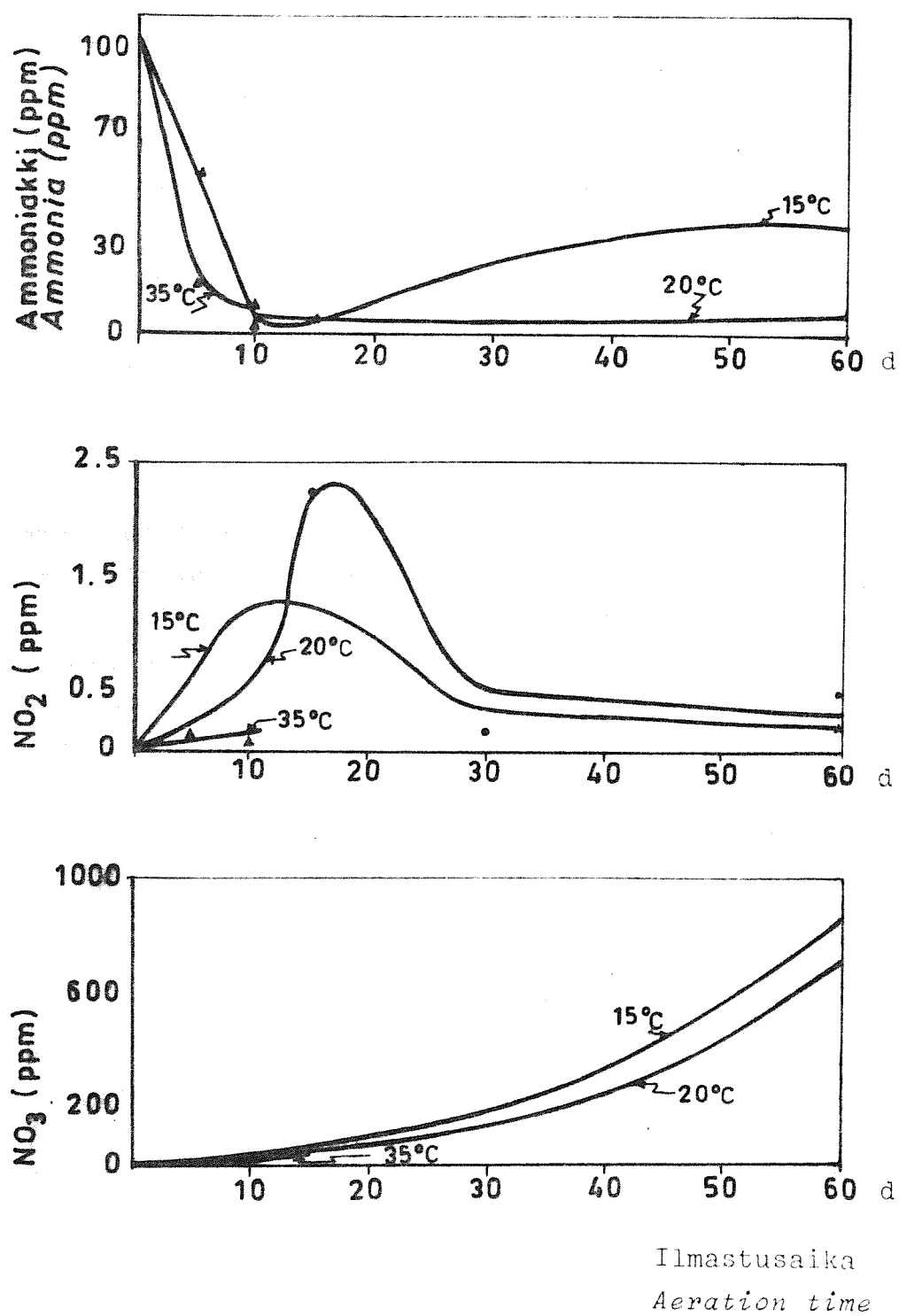
Kuva 7. Jäteveden muuttuminen ilmastuksessa /59/.

Fig. 7. Change of sewage during aeration /59/.



Kuva 8. Typen vähenemä ilmastusajan funktiona /60/.

Fig. 8. Reduction of nitrogen as a function of aeration time /60/.



Kuva 9. Typpi ilmastusajan funktiona /22/.

Fig. 9. Nitrogen as a function of aeration time /22/.

haa biologista lammikkoa. Kysymyksessä onkin eräs lahotuksen suurin etu: vanhan laajennettavan laitoksen hyötykäyttö.

Ilmastimiksi soveltuvat periaatteessa kaikki ilmastintyyppit karkeasta hienokuplaiseen sekä pintailmastimet. Seuraavat tekijät on kuitenkin otettava huomioon:

- karkea- ja hienokuplaisten erilaiset vastapaineet käytettäessä yhteistä kompressoria
- lietteen mahdollinen laskeutuminen ja sen viskositeetin kasvu
- ilmastimien tukeutuvuus.

Lietteen hapetuksessa käytetään yleensä pientä orgaanista kuormaa, korkeata lietekonsentraatiota ja pitkäaikaista, voimakasta ilmastusta. Suomessa tehdyissä havainnoissa stabilointiyksikkö on yleensä yli-ilmastettu ja rejektiveden happikonsentraatio tarpeettoman suuri. Yleissääntönä voidaan pitää, että happimäärä 0,15 - 0,20 kg O₂/kg BHK₇ tulevassa jätevedessä riittää stabilointitilan hapettamiseen. Käytännössä näin pienten ilmamäärien käyttäminen on kuitenkin lietteen laskeutuvuuden takia vaikeata. Lietteen viiveen edellytetään olevan 14 vrk. Tätä voidaan pitää riittävänä, joskin alarajalla olevana.

Aktiivilietteelle on ominaista pieni kuiva-ainepitoisuus. Kuiva-ainepitoisuus ilmastusaltaassa vaihtelee tavallisilla lietekuormilla 2,0 - 6,0 g/l. Selkeyttämöstä palautuslietteenä pumpattavan lietteen kuiva-ainepitoisuus riippuu mm. selkeyttämön tyypistä, pintakuormasta, syvyydestä ja lietteen pumppaustavasta. Kuiva-ainepitoisuudet ovat yleensä 5,0 - 15,0 g/l. Suurempiakin pitoisuuksia voi esiintyä, mutta ne ovat harvinaisia ja liete silloin jo yleensä mätänemistilassa.

Ylijäämalietteen poisto voi tapahtua

- selkeyttämön pohjalta
- palautuslieteputkesta
- ilmastusaltaasta.

Tiivein liete saadaan luonnollisesti erillisellä pumpulla selkeyttämön pohjalta. Se edellyttää kuitenkin lisälaitteita ja automatiik-

kaa. Mikäli laitoksen konstruktio sallii, liete voidaan yksinkertaisemmin siirtää suoraan ilmastusaltaasta stabilointiin. Teoreettista merkitystä pumppauspaikalla ei ole. Lietteen poistoa voidaan säädellä helposti esimerkiksi pumppausaikaa muuttamalla. Ratkaisu on oleellisesti riippuvainen laitoksen konstruktioista ja koosta.

Lietteen sakeutus voi tapahtua ennen lahotusta tai sen jälkeen. Ennen tapahtuessaan se vastannee ylijäämalietteen poistoa selkeyttämön pohjalta. Sakeutus voidaan suorittaa joko normaalissa selkeyttimissä tai erillisessä tiivistämössä. Kuiva-ainepitoisuudet pyrkivät tiivistämöissäkin jäämään n. 20 g/l:aan ja sen alle.

Suosittelava ratkaisu on myös dekantointi siten, että ilmastus keskeytetään ja lietteen annetaan laskeutua altaassa samalla kun lietettä poistetaan pinnalta.

2.34 V a i k u t u s p u h d i s t u s p r o s e s s i i n

Riittävästi mitoitettun ja hyvin hoidetun stabiloinnin väliveden BHK₇ on yleensä alle 5,0 mg/l. Yleensä ei mainittuja olosuhteita kuitenkaan ole ja stabiloinnin väliveden mukana karkaa huomattavia määriä lietettä. Tämä liete lisää puhdistamon orgaanista kuormitusta ja aiheuttaa myös pintalieteongelmia. Väliveden luonnollisin palautuspaikka on ilmastusalas, mutta myös rasvanerotin, esi- tai jälkiselkeytin voivat tulla kysymykseen. Hyvin toimivan stabiloinnin väliveden ominaisuuksia on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Hyvin toimivan lahotuksen väliveden ominaisuuksia.
Table. 1. *Quality of sludge filtrate in well operated aerobic stabilization.*

Parametri <i>Parameter</i>	Pitoisuus <i>Concentration</i> (mg/l)
BHK ₇ BOD ₇	2 - 10
SS	5 - 10
Tot P	5 - 20
Tot N	20 - 60
NO ₃ ⁻ N	20 - 50
NH ₄ ⁺ -N	3

Stabiloidun lietteen väliveden aiheuttama kuormitus on alle promillenlaitoksen kokonaiskuormituksesta. Ravinteet ovat pääosin liuenneina lukuunottamatta fosforia, joka on suurimmaksi osaksi sitoutuneena lietteeseen. Nitraattityppi voidaan saada poistumaan denitrifikaation avulla palauttamalla välivesi laitoksen etupäähän, esimerkiksi rasvanerottimeen.

Kokonaisuutena aerobi stabilointi ei vaikuta laitoksen muuhun toimintaan. Käyttöhäiriöt ja lietteen taitamaton poisto laitoksesta saattavat kuitenkin aiheuttaa liian suuria kiintoainepitoisuuksia ilmastusaltaassa.

2.35 V a i k u t u s l i e t t e e n k u i v a u k s e e n

Mm. Turussa, Perniössä, Kirkkonummella ja Saarioisissa saavutetut tulokset osoittavat, että lahotettu liete on verrattain vaikeasti kuivattavaa. Kokemukset tuntuvat myös osoittavan, että kalkkilisäyksellä on merkittävä koneellisesti kuivatun lietteen lopputulosta parantava vaikutus. Parhaassa tapauksessa näyttää lietekakun kuiva-ainepitoisuus olevan yli 20 %.

Stabilointi dispergoi lietettä ja estää siten sen luonnollista flokkulaatiota. Lisäksi on lietteen kuiva-ainepitoisuus aerobin stabiloinnin jälkeen varsin alhainen. Lahotettu liete soveltuu-kin pelkän polyelektrolyyteillä tapahtuvan kunnostuksen jälkeen huonosti muuhun kuin sentrifugilla tapahtuvaan kuivaukseen.

Eikum on kuitenkin tutkimuksissaan todennut /8/, että lietetyypistä ja lämpötilasta riippuen lahotus saattaa myös parantaa lietteen laskeutuvuutta. Lämpötilan ollessa $+18^{\circ}\text{C}$ on lahotuksen vaikutus laskeutuvuuteen poikkeuksetta positiivinen. Vain mekaanisen lietteen laskeutuvuus on selvästi huonontunut $+7^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa tapahtuvan stabiloinnin johdosta. Muuten on riittävän pitkä viipymä (10 - 15 d.) taannut laskeutuvuuden paranemisen.

Lietteen suodatettavuusominaisuudet ovat aerobisessa stabiloinnissa muuttuneet hyvin samansuuntaisesti. Eikum otaksui, että $+18^{\circ}\text{C}$ lämpötila on luonnollisten polyelektrolyyttien bioflokkulaatiolle suotuisin ja edistää siksi parhaiten vedenerotusomi-

naisuuksien kehittymistä. Toisena, epätodennäköisempänä syynä saat-
taa olla joidenkin suodatettavuutta parantavien organismien runsas
esiintyminen ko. lämpötilassa /14/.

2.36 J o h t o p ä ä t ö k s e t

Puhdistamon koko on ratkaisevan tärkeä tekijä valittaessa jäteveden
puhdistusmenetelmää ja tähän liittyvää lietteenkäsittelyä. Pienten
laitosten (AVL alle 2 000) on oltava hoitotavaltaan erittäin yksinker-
taisia. Niiden hoidosta on pystyttävä selviytymään kerran vuoro-
kaudessa tapahtuvan puolesta tunnista muutamaan tuntiin kestävän
käynnin puitteissa. Näin ollen on vältettävä kemikaaliannosteluja,
erilaisia määriä säätöjä sekä muita toimintavarmuutta heikentäviä
toimintoja. Luonnollisinta on valita silloin prosessiksi lahotus.

Sellaisissa laitoksissa, joissa voidaan edellyttää vähintään puoli-
päivätoimista hoitajaa, voidaan lahotusta tarkastella eräänä var-
teenotettavana stabiloinnin vaihtoehtona.

2.4 KALKKISTABILOINTI

Edellä kuvatut stabilointimenetelmät perustuvat lietteen sisältä-
män orgaanisen aineen hajoittamiseen käsittelyprosessissa biologi-
sesti niin pitkälle, että hajuhaittoja ei enää esiinny lietteen
myöhemmässä käsittelyssä. Lietteän kemiallinen stabilointi perus-
tuu orgaanista ainetta hajoittavien mikro-organismien elinympäris-
tön muuttamiseen näiden toiminnalle epäsuotuisaksi siten, että ne
tuhoutuvat tai niiden elintoiminnot merkittävästi heikkenevät.

Yleisimmin käytetty stabilointikemikaali on kalkki. Kloori on kalk-
kia tehokkaampi, mutta kalkin käsittely on vaarattomampaa ja sen
käyttö halvempaa. Kloori aiheuttaa orgaanisen aineen hapettumista
ja lisää mahdollisuutta myrkyllisten yhdisteiden syntymiselle /10/.

2.41 M ä ä r i t e l m ä

Kalkkistabiloinnilla tarkoitetaan lietteen käsittelyä kalkilla siten, että lietteen pH pysyy yli 11. Stabilointivaikutus riippuu lietteeseen lisätyn kalkin laadusta ja määrästä /42, 58/.

2.42 T e o r i a a

Kalkkistabiloinnissa nostetaan lietteen pH kalkkia lisäämällä niin ylös (pH 11,5 - 12), että pieneliöiden elintoiminnot pysähtyvät. pH:n ja Ca^{2+} -konsentraation muuttuessa mikro-organismien käyttämien orgaanisten ja epäorgaanisten ravintoaineiden liukoisuus muuttuu. OH^- -ionien vaikutuksesta orgaaniset heikot emäkset vapautuvat ja läpäisevät helposti solun seinämän vaikuttaen toksisesti. Edellä mainitun epäsuoran vaikutuksen lisäksi ei ole todettu OH^- tai H^+ -ionien läpäisevän solun seinämää ja vaikuttavan suoraan solunsäisästi /58/.

On myös tunnettua, että solunseinien lipidit voivat alkaalisessa ympäristössä saippuoitua, mikä heikentää niiden vaikutuskykyä /56/.

pH:n ollessa korkea osa ammononiumioneista pelkistyy vapaaksi ammoniakiksi, joka vaikuttaa haitallisesti bakteerien toimintaan /10/.

Kalkin stabiloiva vaikutus on tilapäinen, sillä pH:n laskiessa alkaa lietteen orgaanisen aineen hajoaminen uudelleen. Syitä pH:n laskemiseen kalkkistabiloidun lietteen varastoinnin aikana ovat:

- mikrobialaisen aktiivisuuden tuottamat orgaaniset hapot ja hiilidioksidi
- orgaanisen aineen hydrolyysi yksinkertaisiksi orgaanisiksi hapoiksi
- orgaanisen aineen sisältämät karboksyyli-ryhmät (COOH) luovuttavat hiilidioksidia
- ilman hiilidioksidia
- ioninvaihtoilmiöt: hydronium-ioni ympäröivät kolloidit voivat ympäröidä kalsium-ionin. Vapaat hydronium-ionit reagoivat hydroksyyli-ionien kanssa aiheuttaen pH:n alenemisen.

Korkeamman säilytyslämpötilan on todettu nopeuttavan kalkkistabiloidun lietteen pH:n alenemista. Kalkkistabiloinnilla voidaan siis tilapäisesti poistaa lietteen hajuhaitat kuljetuksen, lyhytaikaisen varastoinnin tai sijoittamisen (esim. pellolle levityksen) ajaksi /42, 52/.

Kalkitus parantaa lietteen hygieenistä tilaa sillä se vaikuttaa bakteerien elintoimintoja ehkäisevästi. Kalkkistabiloidun lietteen sisältämistä bakteereista ja viruksista aiheutuva terveydellinen riski on huomattavasti pienempi kuin mädätetyllä lietteellä. Loismatojen ja alkueläinten aiheuttama riski ei ole suurempi kuin mädätetyllä lietteellä /10/.

Kalkin käyttö stabilointikemikaalina vaikuttaa myös lietteen vedenerotusominaisuuksiin. Mekaanis-kemiallisen (A1) lietteen ja biologis-kemiallisen (A1) lietteen tiivistymisominaisuudet paranevat /52/. Kalkkistabilointi voi myös vähentää kuivauksen yhteydessä käytettävän kunnostuskemikaalin kulutusta. Kalkkistabiloidulle lietteelle sopivin kunnostuskemikaali ei välttämättä ole sama kuin raakalietteelle parhaaksi todettu.

Aerobisessa ja anaerobisessa stabiloinnissa lietteen sisältämä hiili muuttuu hiilidioksidiksi ja metaaniksi. Biologisesti stabiloidussa lietteessä on humuksen absoluuttinen määrä pienempi kuin kalkkistabiloidussa lietteessä, jossa orgaaninen aine säilyy /58/. Sen sijaan orgaanisen aineen suhteellinen osuus stabiloidun lietteen kuiva-ainemäärästä on biologisilla lietteillä korkeampi kuin kalkkistabiloiduilla, sillä lietteen epäorgaanisen aineen määrä kasvaa kalkkilisäyksestä johtuen.

Suomessa maaperä on usein hapanta ja kalkkia käytetään maan pH:n nostamiseen. Kalkkistabiloidun lietteen sisältämällä kalkilla voidaan korvata osa tähän tarkoitukseen käytetystä kalkista.

2.43 Käytännön ratkaisut

Kalkkistabiloinnissa lisätään lietteeseen sammutettua kalkkia kuivana tai kalkkimaitona. Märkäsyöttö on käytännössä kuivasyöttöä parempi,

sillä kalkin sekoittuminen lietteeseen saadaan siten tehokkaammaksi ja samalla välttyään kalkin pölyämisen aiheuttamilta haitoilta /58/.

Amerikkalaisten tutkijoiden suorittamien pilot-plant kokeiden mukaan on kalkkilisäys, joka nostaa pH:n yli 12:n, kun stabilointiaika on 30 min /5/:

$$\text{Kalkkiannos} = 4,2 + 1,6 \text{ TS}, \quad (1)$$

missä kalkkiannos = g Ca (OH)₂/l lietettä
TS = lietteen kuiva-aine g/l

Norjalaisen tutkimuksen mukaan tarvitaan taulukossa 2 esitetyt kalkkiannostukset, jotta lietteen pH saataisiin pysymään yli 11:n 14 d ajan 20°C lämmössä.

Taulukko 2. Kalkkiannostus, jolla lietteen pH \geq 11 vähintään 14 d ajan /52/.

Table. 2. Dosages of lime required to maintain sludge pH \geq 11 for more than 14 d.

Liete	Sludge	g Ca (OH) ₂ /g TS
Primäärinen	Primary	100 - 150
Biologinen	Biological	300 - 500
Jälkisaostus (Al)	Post-precipitation (Al)	400 - 600
Prim. + jälkis. (Al)	Primary + post-prec. (Al)	250 - 400
Jälkisaostus (Fe)	Post-precipitation (Fe)	350 - 600

Alumiinilietteen kalkinkulutus on suurempi kuin rautalietteen. Tämä johtuu alumiinin amfolyyttiluonteesta; alumiini reagoi kalsiumhydroksidin kanssa muodostaen kalsiumalumiinaattia /12/. Kalkin ominaisannos on käytännössä säädettävä joko kalkkikojeen tai pumppun tehoa säätämällä /58/.

Sekoituksen viipymänä käytetään noin 20 min. Sekoitusteho valitaan siten, että kalkki tulee käytetyksi mahdollisimman tehokkaasti. Samalla on varottava liian tehokasta sekoitusta, joka voi aiheuttaa flokin särkymistä ja siten vaikeuttaa lietteen tii-

vistystä ja kuivausta. Ilmasekoituksen avulla saadaan liuennutta hiilidioksidia poistumaan lietteestä ja kalkin kulutusta tällä tavoin vähennetyksi /58/.

Muihin stabilointimenetelmiin verrattuna kalkkistabilointi on helpokäyttöinen prosessi, jonka valvontaan kuuluu vain annostelu- ja sekoituslaitteiden toiminnan tarkkailu. pH:n mittauksilla voidaan todeta stabiloinnin pysyvyys /43/.

2.44 P o l t e t u n k a l k i n k ä y t t ö

Poltetun kalkin käyttö lietteen stabilointiin Orsa-menetelmällä on itse asiassa luettavissa lietteen jatkokäsittelymenetelmäksi, sillä lietteeseen sekoitettava aine (kalkki) muodostaa usein käytännössä suurimman osan lopputuotteesta.

Orsa-menetelmässä sekoitetaan poltettua eli sammuttamatonta kalkkia koneellisesti kuivattuun lietteeseen. Lietteessä oleva vesi sammuttaa kalkin, jolloin lämpötila kohoaa lähelle kiehumispistettä. Lämpötilan nousu ja korkea pH hygienisoivat lietteen ja tekevät sen hajuttomaksi. Samalla saadaan tuotteen kuiva-ainepitoisuudeksi yli 50 %. Poltettua kalkkia annostellaan saman verran kuin lietteessä on kuiva-ainetta. Tuote soveltuu sellaisenaan maanparannusaineeksi. Menetelmä on kuitenkin kallis, koska kalkin kulutus on suuri. Lisäksi se on teknisesti vaikeampi toteuttaa ja käyttää kuin varsinainen kalkkistabilointi sammutetulla kalkilla.

2.45 J o h t o p ä ä t ö k s e t

Kalkin käytöllä on saavutettu lietteen stabiloinnissa hyviä tuloksia. Vaikka kalkin stabiloiva vaikutus onkin tilapäinen voidaan lietteen hajuhaitat poistaa käsittelyn, kuljetuksen, lyhytaikaisen varastoinnin ja levityksen ajaksi. Stabiloivan vaikutuksen lisäksi kalkki parantaa lietteen hygieenistä tilaa; se saattaa myös parantaa lietteen vedenluovutusominaisuuksia ja vähentää kunnostuskemikaalin tarvetta. Käytettäessä kalkkistabiloitua lietettä maanparannusaineena vähenee maan pH:n säätämiseen tarvittavan kalkin määrä.

Kalkkistabilointi on pääomakustannuksiltaan edullinen ja helppo-hoitoinen stabilointiprosessi, jonka kokonaiskustannukset riippuvat oleellisesti kalkin hinnasta ja käytetyn kalkin määrästä.

2.5 STABILOINNIN ARVIOINTI

2.51 L i e t t e e n h a j u n t u t k i m u s

A. Ahlström Oy:n toimesta on v. 1972 tutkittu kunnallisen lietteen termisessä kuivauksessa syntyviä haisevia kaasuja. Koska lietteen stabiilisuudella tarkoitetaan yleensä sitä, että liete on hajuton, on tällä tutkimuksella mielenkiintoa lietteen stabiloinnin ja stabiilisuuden tutkimisen kannalta.

2.511 Menetelmät

Kokeet suoritettiin Hans Ahlström-laboratorion ja Åbo Akademin puukemian ja selluloosatekniikan laitoksen yhteistyönä. Tavoitteena oli tutkia kunnallisen lietteen termisessä kuivauksessa syntyviä haisevia yhdisteitä ja kehittää niiden analysointimenetelmiä.

Käytetty liete oli Lappeenrannan kunnallista lietettä, joka lämmitettiin $+100^{\circ}\text{C}$ lämpötilaan E-kolvissa, josta otettiin n. 5 - 10 cm³ kaasunäytteitä. Näytteet ruiskutettiin Varsian Aerograph 600-tyyppiseen kaasukromatografiin, joka oli varustettu liekki-ionisaatiodektektorilla. Hajukaasujen määrittämiseksi kaasukromatografi oli yhdistetty massaspektrometriin LKB-9000.

2.512 Tulokset

Kaasunäytteet sisälsivät niin paljon erilaisia hiilivetyjä, että kaasukromatografissa spektrin piikit menivät päällekkäin. Näin ollen niiden luotettava tunnistaminen ei ollut mahdollista. Osaltaan tutkimuksen teki vaikeaksi sopivan kolonnimateriaalin etsiminen, mikä on kaasukromatografiassa vaikeimpia ja työläimpiä vai-

heita erityisesti silloin, kun ei tunneta analysoitavia komponentteja. Erityisesti lietteen sisältämien pahanhajuisten rasvahappojen tutkimiseksi uutettiin n. 10 g lietettä eetterillä. Vertailusekoituksena käytettiin liuosta, joka sisälsi pahanhajuisia rasvahappoja - propionihappoa, voi-happoa ja isovoihappoa. Massaspektreistä kävi ilmi, että mainittuja rasvahappoja ei ollut huomattavia määriä; massaspektri osoittautui olevan sekaspektri, joten varman tunnistaminen ei ollut mahdollista.

Kaasunäytteen erilaisten komponenttien erottaminen on mahdollista suorittaa tiivistämällä kaasua jäähdytystaskussa esim. nestemäisellä typellä. Lauhteen jaksottainen lämmittäminen mahdollistaa osittaisen analysoinnin kaasukromatografilla ja massaspektrometrilla. Tämä edellyttää erikoislaitteiden suunnittelua ja konstruktiota, jota tässä yhteydessä ei ajan puutteen takia ollut mahdollista suorittaa.

Koska kunnallinen liete voi sisältää useita erilaisia hajua aiheuttavia komponentteja kuten rikkivetyä, merkaptaneja, ammoniakkia, fenoleja, orgaanisia rasvahappoja, eri tyyppiyhdisteitä ym., muodostuu lietteen hajun analysointi todennäköisesti hyvin vaikeaksi, ja se voidaan suorittaa vain erittäin hyvin varustetuissa laboratorioissa. Ongelmat lisääntyvät, kun otetaan huomioon, että hajukomponentit eivät suinkaan ole aina pysyviä, vaan muuttuvat koko ajan.

Yksityiskohtaista analyysia vaikeuttaa se, että haisevat yhdisteet aiheuttavat epämiellyttävän hajun jo hyvin matalina konsentraationa. Taulukossa 3 on muutamien yhdisteiden hajurajat.

Taulukko 3. Eräiden yhdisteiden hajurajat.

Table 3. Threshold values for odour of some chemical compounds.

Yhdiste Compound	Hajuraja (mg/m ³ ilmaa) Threshold value (mg/cu.m. air)
voihappo butyric acid	1,0
merkaptani mercaptan	0,04
skatoli scatol	0,0004

Vertailuna voidaan mainita, että tavallisella kaasukromatografilla tarvitaan yhdisteiden rekisteröintiin n. 0,01 mg ainetta. Muutaman kuutiosenttimetrin kaasunäyte saattaa siis sisältää niin pieniä määriä haisevia komponentteja, että kojeen herkkyys ei riitä. Tilanne vaikeutuu vielä toisten yhdisteiden korkeiden konsentraatioiden vuoksi.

Ihmisen hajuaisti on jopa herkempi kuin kaasukromatografi. Herkkyys vaihtelee riippuen ympäristöstä, henkilökohtaisista tavoista kuten tupakanpoltosta jne. Toistaiseksi näyttää kuitenkin siltä, että hajuaistin käyttäminen esim. laimennusmenetelmän yhteydessä antaa parhaan tuloksen.

2.513 Johtopäätökset

Lietteen hajua aiheuttavia kaasuja tutkittiin kaasukromatografilla, joka oli yhdistetty massaspektrometriin. Korkeatasoisista analysointilaitteista huolimatta haisevien komponenttien tunnistaminen oli vaikeaa ja jopa mahdotonta. Näytteet sisälsivät runsaasti erilaisia tunnistamattomia hiilivetyjä niin, että kaasukromatografissa spektrin piikit menivät päällekkäin. Useiden kaasujen hajuraja on niin alhainen, että laitteiden herkkyys ei riitä niiden analysointiin. Toistaiseksi lienee tyydyttävä hajun määrittämisessä ihmisen hajuaistiin sen heikkouksista huolimatta.

2.52 L i e t t e e n a k t i i v i s u u d e n t u t k i m i - n e n

Liete sisältää syntyvästä ja käsittelyasteesta riippuen vaihtelevia määriä orgaanisia yhdisteitä, jotka jaetaan helposti ja vaikeasti hajoaviin yhdisteisiin. Mitä enemmän liete sisältää helposti hajoavia yhdisteitä, sitä nopeammin sen laatu muuttuu biologisen hajoamistoiminnan johdosta. Hajoaminen on varsin nopeaa raakalietteessä jo yli 10°C lämpötilassa.

Jätevesilietteen tutkiminen tuottaa helposti hankaluuksia, sillä analysoitavan lietteen laatu ei enää olekaan sama kuin puhdistamolla. Myös viikonlopun yli seisoneiden raakalietteiden kuivaus tuottaa enemmän vaikeuksia kuin tuoreen raakalietteen kuivaus ennen viikonloppua.

Stabiloidun lietteen analysoinnin tai käsittelyn ei sen sijaan pitäisi aiheuttaa vaikeuksia, sillä helposti hajoava orgaaninen aine on hajoitettu tai hajoitustoiminta keskeytetty, jolloin lietteen biologinen aktiivisuus on olennaisesti vähentynyt.

Näiden kokeiden tarkoituksena oli selvittää ensisijaisesti, kuinka kauan lietettä voidaan kuljettaa ja säilyttää ennen analysointia ja mikä on säilytyslämpötilan vaikutus. Samalla toivottiin saatavan selville, mitä eroja raakan ja stabiloidun lietteen välillä on tässä suhteessa.

2.521 Menetelmät

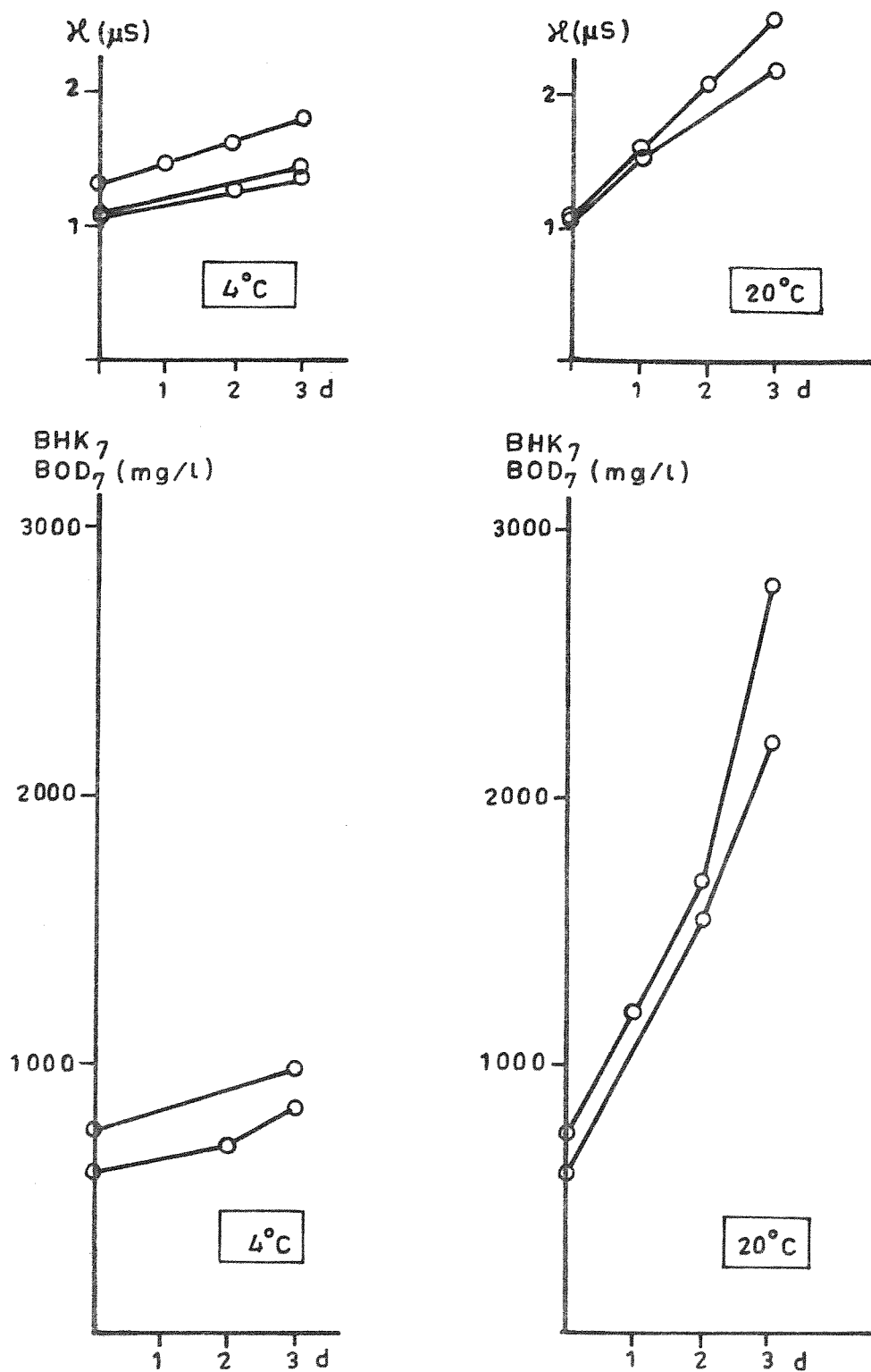
Sekä raakaa että mädätettyä nestemäistä biologista lietettä hankittiin Helsingin kaupungin Kyläsaaren puhdistamolta. Kolmesta erillisestä raakalietenäytteestä ja kahdesta mädätetystä lietenäytteestä tehtiin kolmen vuorokauden pituisia säilytyskokeita $+4^{\circ}\text{C}$ ja $+20^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa.

Suoraan lietteestä määritettiin pH, kiintoaine (105°C), haihdutusjäännös (105°C), hehkutusjäännös (550°C) ja suodatusvastus. Lietevdestä määritettiin pH, johtokyky, tiheys, viskositeetti, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ ja BHK_7 /4, 26/.

2.522 Tulokset

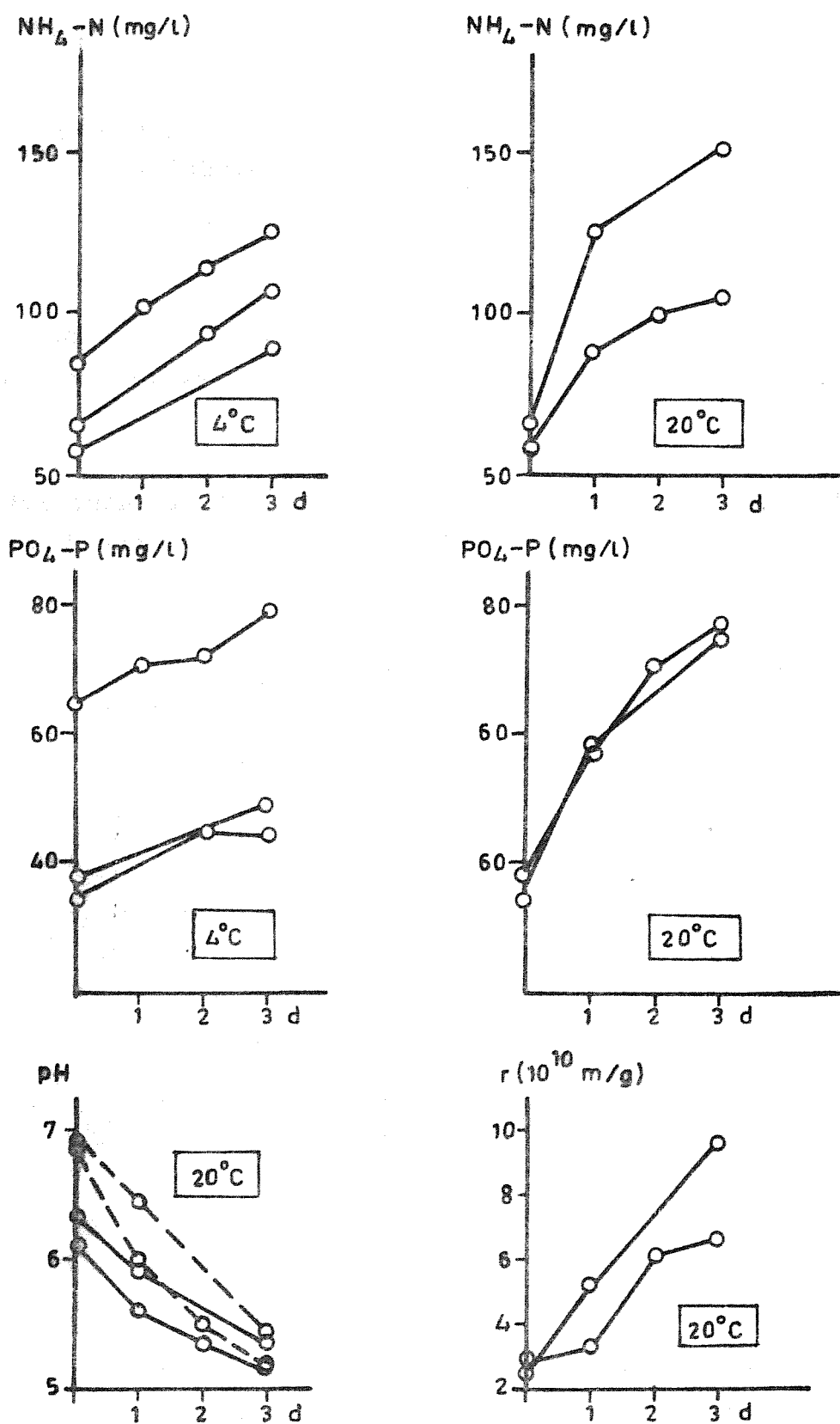
Raakaliete

Tutkimuksen tuloksia on esitetty kuvissa 10 - 11. Lietteiden ja lieteveden pH eivät muuttuneet kolmen vuorokauden aikana $+4^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa, mutta $+20^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa oli havaittavissa selvä pH:n lasku.



Kuva 10. Raaka lietteen säilytysajan ja -lämpötilan vaikutus lieteveden sähkönjohtokykyyn ja BHK₇:ään.

Fig. 10. Effect of storage time and temperature on raw sludge filtrate conductivity and BOD₇.



Kuva 11. Raakalietteen säilytysajan ja -lämpötilan vaikutus liete-veden laatuun.

Fig. 11. Effect of storage time and temperature on raw sludge filtrate quality.

Kiintoaineen haihdutusjäännöksen ja hehkutusjäännöksen tuloksissa ei ole havaittavissa merkittäviä muutoksia.

Lietteiden suodatusvastusarvot näyttivät nousevan jonkin verran, kun näytteitä säilytettiin kolme vuorokautta $+4^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Sen sijaan $+20^{\circ}\text{C}$ säilytetyssä raakalietteessä kasvoi suodatusvastus yli kaksinkertaiseksi.

Lieteveden sähkönjohtavuus nousi jääkaapissa säilytetyissä näytteissä säilytysaikana 50 % ja huoneenlämmössä säilytetyissä näytteissä yli kaksinkertaiseksi.

Lieteveden ammoniumtypen ja liukoisen fosforin määrät lisääntyivät selvästi kummallakin tavalla säilytetyissä näytteissä. Huoneenlämmössä oli nousu kuitenkin huomattavasti suurempi.

Lieteveden biologinen hapenkulutus lisääntyi kolmen vuorokauden aikana selvästi jääkaapissa säilytetyissä näytteissä ja erittäin voimakkaasti $+20^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa säilytetyissä näytteissä.

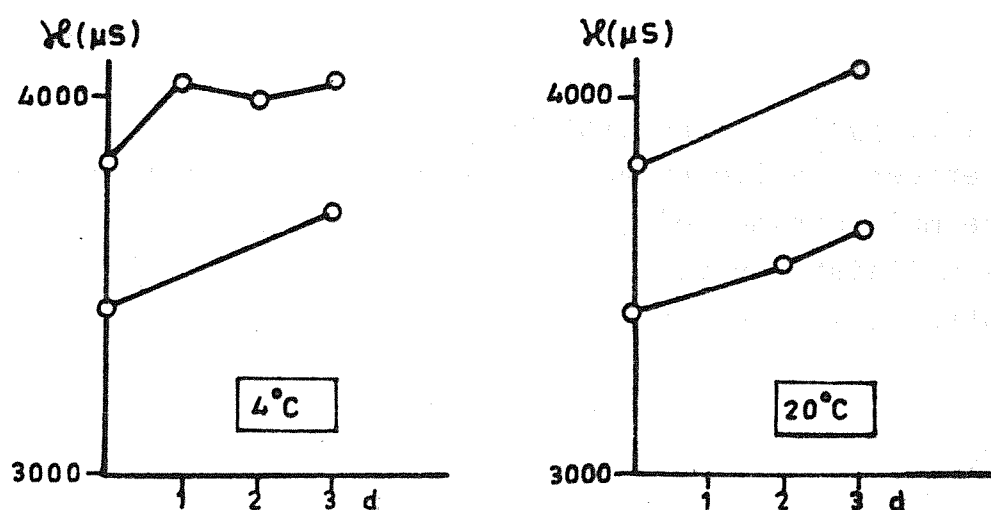
Mädätetty liete

Mädätetyllä lietteellä osoittautuivat muutokset yleensä satunnaisiksi tai varsin vähäisiksi. Tulosten vähäiset vaihtelut johtuvat ilmeisesti näytteenotosta ja analyysimenetelmistä.

Ainostaan lieteveden sähkönjohtavuusarvoissa oli havaittavissa johdonmukaista nousua kummassakin lämpötilassa säilytetyissä näytteissä (kuva 12).

2.523 Johtopäätökset

Lietteen säilytyskokeiden perusteella voidaan todeta, että kunnollisesti stabiloitu (mädätetty) liete ei ole biologisesti aktiivista. Sitä voidaan tarvittaessa säilyttää pitkäänkin, ennen kuin sen ominaisuudet muuttuvat merkittävästi. Tuore raakaliete sen sijaan on niin aktiivista että se olisi tutkittava tai käsiteltä-



Kuva 12. Määtetyn lietteen lieteveden sähkönjohtokyvyn muuttuminen säilytysajan ja -lämpötilan funktiona.

Fig. 12. Change of conductivity of anaerobically digested sludge filtrate as a function of storage time and temperature.

vä välittömästi tai enintään muutaman tunnin kuluessa. Lietteen säilyttäminen alhaisessa lämpötilassakaan ei pysty keskeyttämään raakalietteessä alkanutta hajoitustoimintaa. Tämä lietteen ns. vanheneminen on varsin tärkeä huomioon otettava tekijä raakalietteen koneellisessa kuivauksessa, mikäli lietettä joudutaan varastoimaan useita päiviä.

Määtetyn lietteen sähkönjohtokyky on tutkitussa lietteessä n. 3 500 kertainen raakalietteeseen verrattuna. BHK_7 on pienentynyt mädätyksen ansiosta 95 %, $PO_4-P > 90$ % ja NH_4-N kasvanut seitsemänkertaiseksi. Sähkönjohtokyvyn muutokset mädätetyssä lietteessä osoittavat, ettei liete vielä ollut saavuttanut täysin stabiilia tilaa.

Yksinkertaisin stabiilisuuden indikaattori normaaleilla biologisilla lietteillä näyttää olevan pH, mutta monia muitakin biologisessa hajoitustoiminnassa muuttuvia yksinkertaisia parametrejä voidaan käyttää. Mittaamalla kyseinen parametri tuoreesta näytteestä ja antamalla sen seisoa huoneenlämmössä muutaman päivän voidaan todeta lietteen muuttumisnopeus. Raja-arvojen tai muuttumisnopeuden numeeristen kriteerien esittäminen stabiloidulle lietteelle vaatisi kuitenkin jatkotutkimuksia. Tuloksia ei ilmeisesti voitaisi yleistää, koska ne ovat lietekohtaisia.

2.53 C O S T 6 8 p r o j e k t i n s u o s i t u k s e t

COST 68 projektissa pyrittiin kehittämään lietteen karakterisointimenetelmiä. Lietteen stabilointiasteen kuvaamiseksi koetettiin löytää yksi tai useampia parametreja, jonka tai joiden avulla voitaisiin määritellä millaista on täysin stabiloitu liete. Työ jäi osittain kesken, mutta eräitä suosituksia on kuitenkin annettu.

2.531 Määdätys

Määdätetyn lietteen stabiilisuutta ei ole projektissa määritelty eikä määrittäysmenetelmää standardisoitu. Eri maissa on kuitenkin kokeiltu mm. seuraavia stabiilisuuden parametreja: pH, liettyneet aineet, kaasumuodostus, ATP (adenosiinitrifosfaatti), TTC, DNA, kokonaishiilihydraatit ja vedenluovutusominaisuudet. Lisäksi on havaittu, että lietteen stabiilisuutta voidaan arvioida lieteveden pH:n, ominaisuodatusvastuksen, BHK:n, ortofosfaattipitoisuuden ja typpipitoisuuden perusteella /47, 57/.

2.532 Lahotus

Aerobistabiloidun eli lahotetun lietteen on määritelty olevan täysin stabiloitua silloin, kun lietteen hajun voimakkuusluku (Odour Intensity Index = OII) ei ylitä arvoa 11 varastoitaessa lietettä 14 d 20°C lämpötilassa ellei haju ole selvästi luokiteltavissa tyypilliseksi "maan" tuoksuksi. OII ilmoittaa, montako kertaa näyte on laimennettu hajuttoman veden kanssa suhteessa 1:1 ennen kuin on saatu liuos, josta lietteen haju on juuri ja juuri tunnistettavissa. Täten esimerkiksi OII:n arvo 11 tarkoittaa, että haju on vielä havaittavissa liuoksesta, jossa alkuperäistä näytettä on $\frac{1}{2^{11}}$ eli $\frac{1}{2048}$.

Projekti suosittelee seuraavia kolmea menetelmää lietteen stabiilisuuden määrittämiseksi aerobin stabiloinnin yhteydessä:

- hapentarve (oxygen uptake rate)
- nitriitti- ja/tai nitraattipitoisuus
- denitrifikaation aiheuttama flotaatioilmiö

Kaksi jälkimmäistä menetelmää ovat hyvin yksinkertaisia ja tarkoitettuja lähinnä käytettäväksi pienillä puhdistamoilla. Mikäli nitriittejä ja/tai nitraatteja löytyy lietevedestä, lietettä voidaan pitää täysin stabiloituna. Kvalitatiivinen määrittäminen on riittävä. Menetelmä saattaa olla soveltumaton niille biologisille puhdistamoille, joissa on täydellinen nitrifikaatio. Toisessa menetelmässä käytetään lietteen stabiilisuuden indikaattorina nitrifioituja lietteitä varastoitaessa esiintyvää flotaatioilmiötä /4, 57/.

2.533 Kalkkistabilointi

Kalkkistabiloitu liete on sovittu stabiiliksi silloin, kun seuraava ehto toteutuu /4, 57/:

- lietteen pH:n tulee pysyä 11,0:n yläpuolella säilytetäessä lietettä 14 d 20°C lämpötilassa avonaisessa dekantterilasissa.

3. K A L K K I S T A B I L O I N T I T U T K I M U S

Tutkimuksen tarkoituksena oli kalkkistabiloinnin pysyvyyden selvittäminen eri olosuhteissa ja stabiloinnin aiheuttamien muutosten seuraaminen lietteessä ja erityisesti lietevedessä.

3.1 KOEOLOSUhteet

Turun kaupungin keskuspuhdistamolla tehtiin lietteen kalkkistabilointikokeita kesällä ja syksyllä 1974. Puhdistamo oli tavallinen aktiivilietelaitos, jonka AVL oli 180 000, mutta joka oli ylikuormitettu. Viemäröinnin piirissä on runsaasti teollisuutta, mistä on seurauksena mm. jäteveden sisältämä kalsiumkarbidi, joka nostaa lietteen pH:ta.

Jälkiselkeytysaltaista liete palautetaan hydrostaattisesti palautuslietepumppujen imukaivoon, josta ylijäämäliete valuu ylijäämälieteventtiilin kautta laitoksen alkupäähän jätevesipumppujen imualtaa-

seen. Esiselkeyttämöstä poistettava liete sisältää siis myös ylijäämälietteen. Esiselkeytysaltaista liete pumpataan kahteen katettuun pyöreään tiivistysaltaaseen, joissa on pyörivät hämmennyskaavinlaitteet. Erotettava vesi valuu ylivuotoreunojen yli pumpaamon imualtaaseen. Tiivistetty liete siirretään pumppujen avulla lietteen kunnostukseen ja koneelliseen kuivaukseen. Tiivistämön lietteestä oli määritetty puhdistamon laboratoriossa pH, kiintoaine ja orgaaninen aine. Vuoden 1974 keskiarvot olivat:

pH	7,1
SS	6,4 %
vss	58,9 %

Lietteen kunnostukseen käytettiin kalkkia, jonka annostus oli noin 15 % lietteen kuiva-ainemäärästä, ja Finnferriä, jota annosteltiin vastaavasti noin 5 %. Liete ja kemikaalit sekoitettiin sekoittimella varustetuissa säiliöissä kunnollisen flokin muodostamiseksi, minkä jälkeen liete kuivattiin imusuodattimilla.

3.2 MENETELMÄT

Nestemäisten lietteiden pH mitattiin suoraan lietteestä pH-mittarilla. Kuivattu liete laimennettiin tislatusvedellä suhteessa 1 : 2,5 ennen mittausta. Kuivana säilytetyt lietteet laimennettiin 1 : 5. Suodatettujen lietteiden pH mitattiin suodosvedestä.

NH₄-N, BHK₇, KMnO₄-kulutus, SS, TS ja PO₄-P analysoitiin tavallisilla menetelmillä /4, 9/.

3.3 TULOKSET

3.31 T i i v i s t ä m ä t ö n l i e t e

Tiivistetyllä lietteellä aikaisemmin suoritettut kokeet osoittivat, että tiivistetty liete poikkeaa viikonlopun jälkeen selvästi laadultaan lietteestä, joka poistetaan tiivistämöstä viikon viimeisenä arkipäivänä. Ilmeisiä syitä tähän olivat lietteen viipymä tiivistämössä ja työviikon päättyessä tapahtuvat teollisuuden päästöt.

Tuore tiivistämätön lietenäyte otettiin alkuviikosta, jotta saataisiin tutkituksi kalkkilisäyksen vaikutusta mahdollisimman aktiiviseen lietteeseen.

3.311 Menetelmät

Tiivistämöön tulevasta lietteestä otettiin näytteitä, joihin sekoitettiin kalkin ja Finnferrin seosta siten, että kalkkiannostus CaO:ksi laksettuna oli 0 - 14 % lietteen kuiva-ainemäärästä. Kalkkimahto sisälsi kalkkia 20 g/l ja Finnerriä 3,5 g/l.

Lietenäytteitä säilytettiin 15 vuorokautta $+5^{\circ}\text{C}$ ja $+25^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa. Näytteitä tutkittiin kahdeksan kertaa siten, että tutkimustiheys oli suurimmillaan koejakson alussa.

Osa kustakin lietenäytteestä tutkittiin sellaisenaan. Osa näytteistä sentrifugoitiin laboriosentrifugilla. Lietteestä erotunut välivesi analysoitiin ja jäljelle jäänyt liete sekoitettiin suhteessa 1 : 2,5 tislattuun veteen. Tällä tavoin pyrittiin selvittämään väliveden poistamisen vaikutus lietteen pH-arvoon.

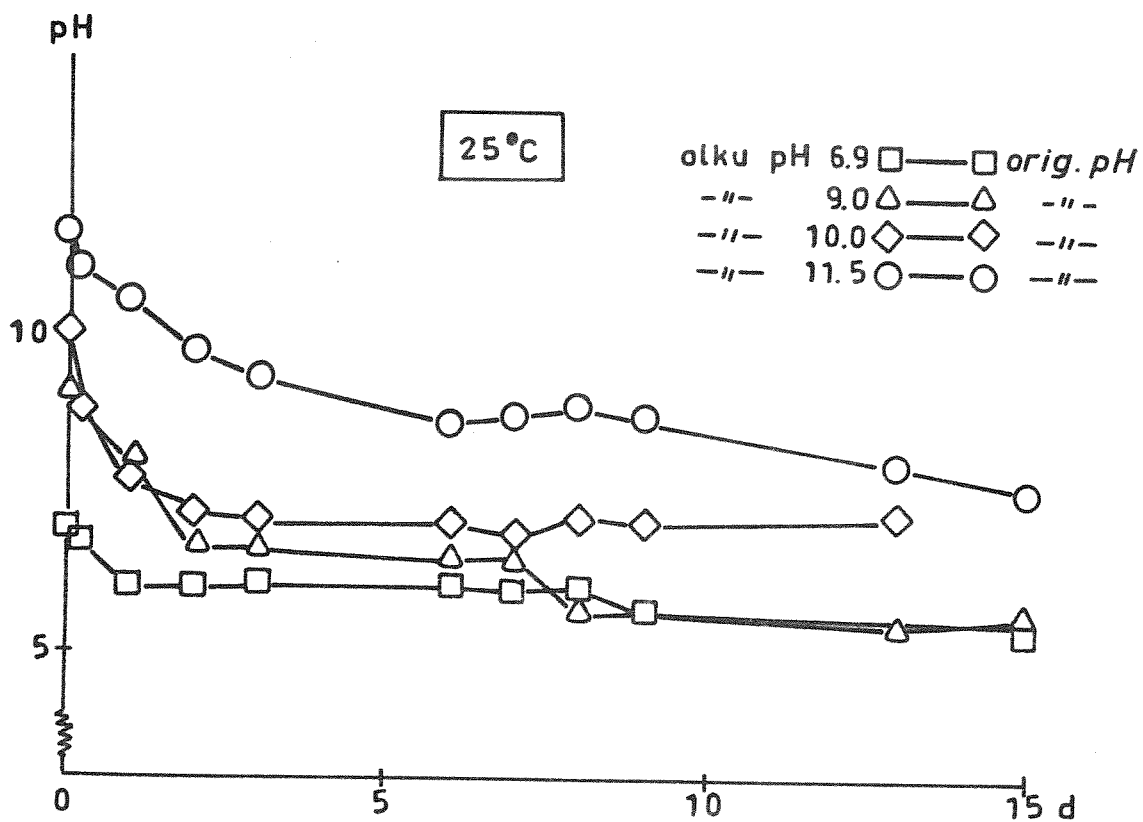
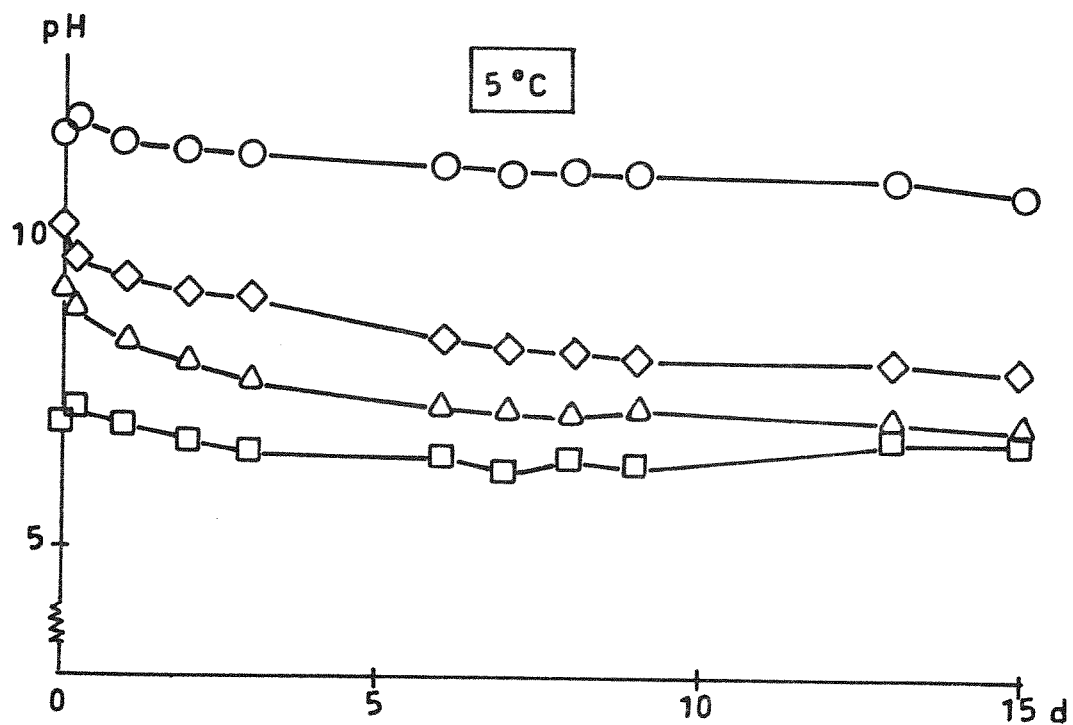
Näytteistä analysoitiin pH, $\text{NH}_4\text{-N}$ ja KMnO_4 -kulutus.

3.312 Tulokset

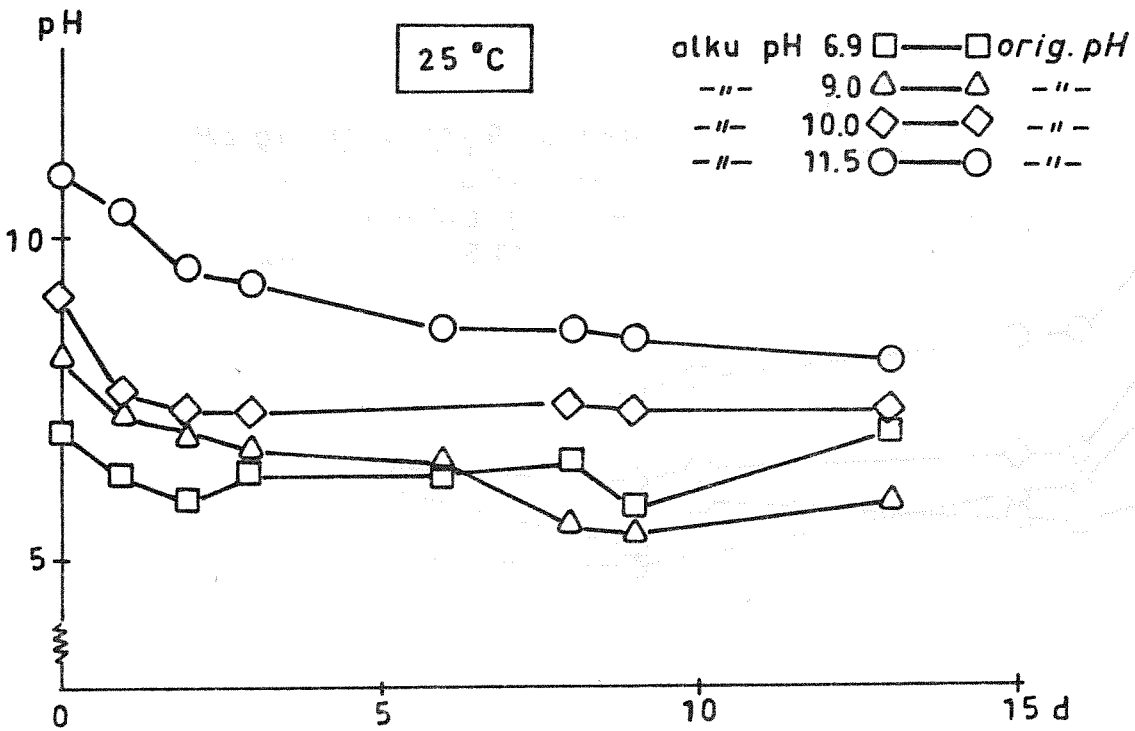
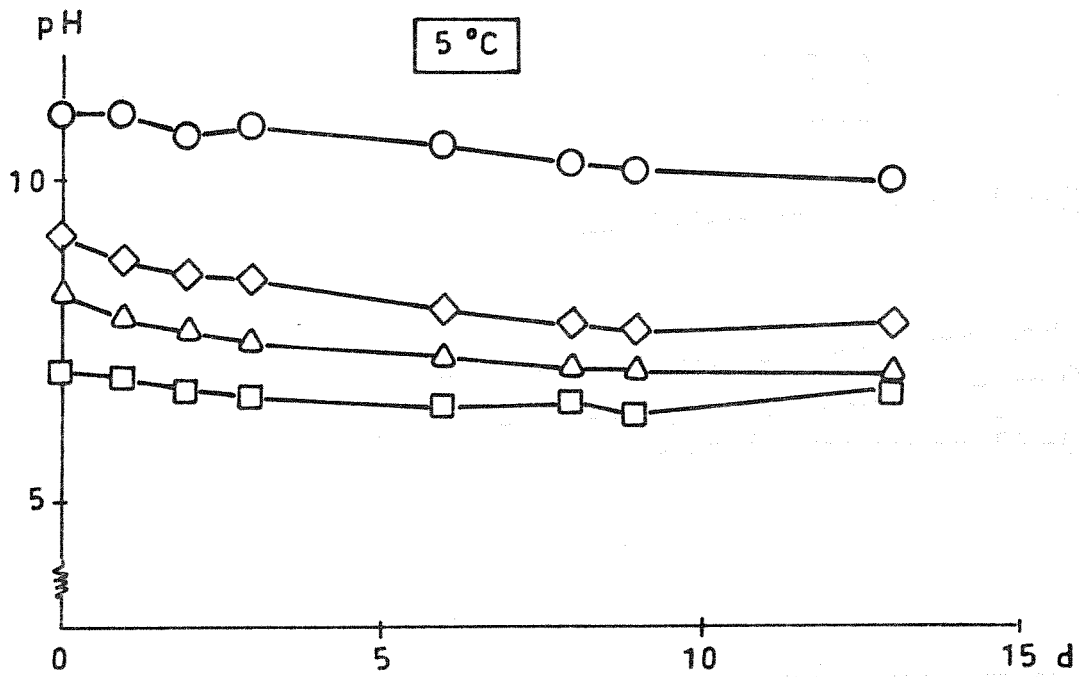
Näytteiden pH arvojen muuttuminen lietteessä, lietevedessä ja vedellä laimennetussa sentrifugoidussa lietteessä on esitetty kuvissa 13 - 15. Merkille pantavaa on alkuperäisen lietteen hiukan korkeampi pH lietevedeen ja sentrifugoituun lietteeseen verrattuna.

Ammoniumtyypen pitoisuuksien muuttuminen lietteessä on esitetty kuvassa 16. Voimakas ammoniumtyypen kasvu on merkille pantava seikka korkeissa lämpötiloissa, samoin kuin ammoniumtyypen selvästi pienimmät pitoisuudet korkeilla pH-arvoilla.

KMnO_4 -kulutuksen tulokset on esitetty kuvassa 17. Runsas kalkin käyttö lisää selvästi happea kuluttavien aineiden liukenemista liet-

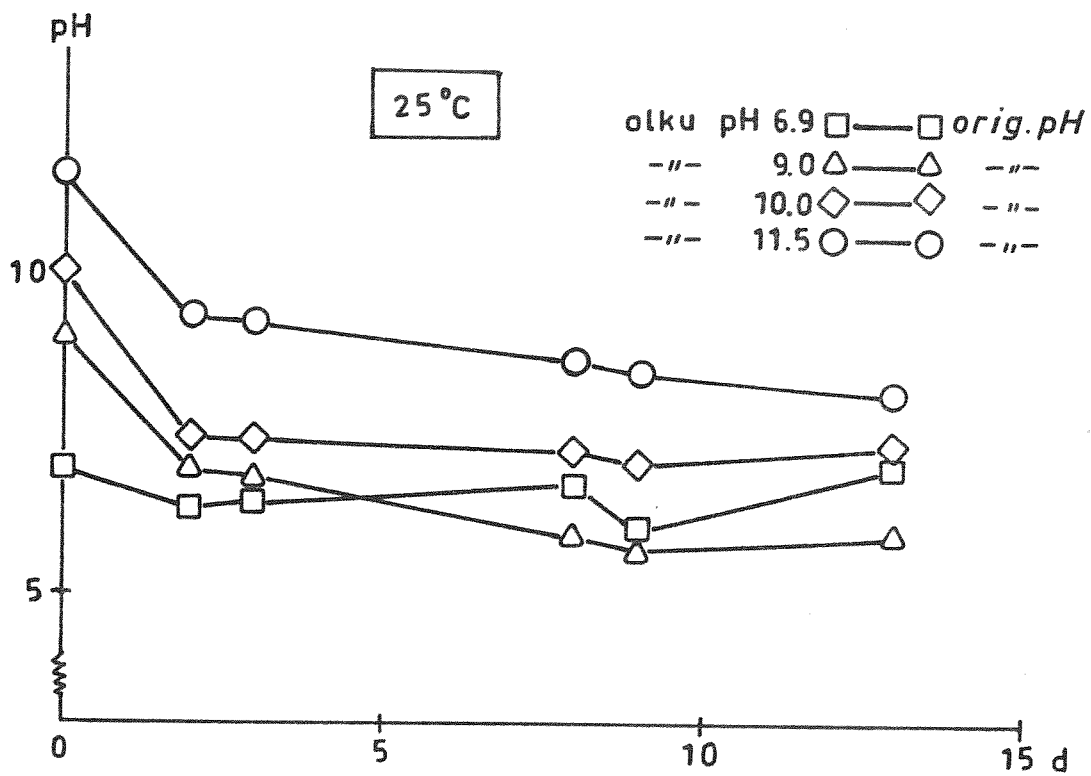
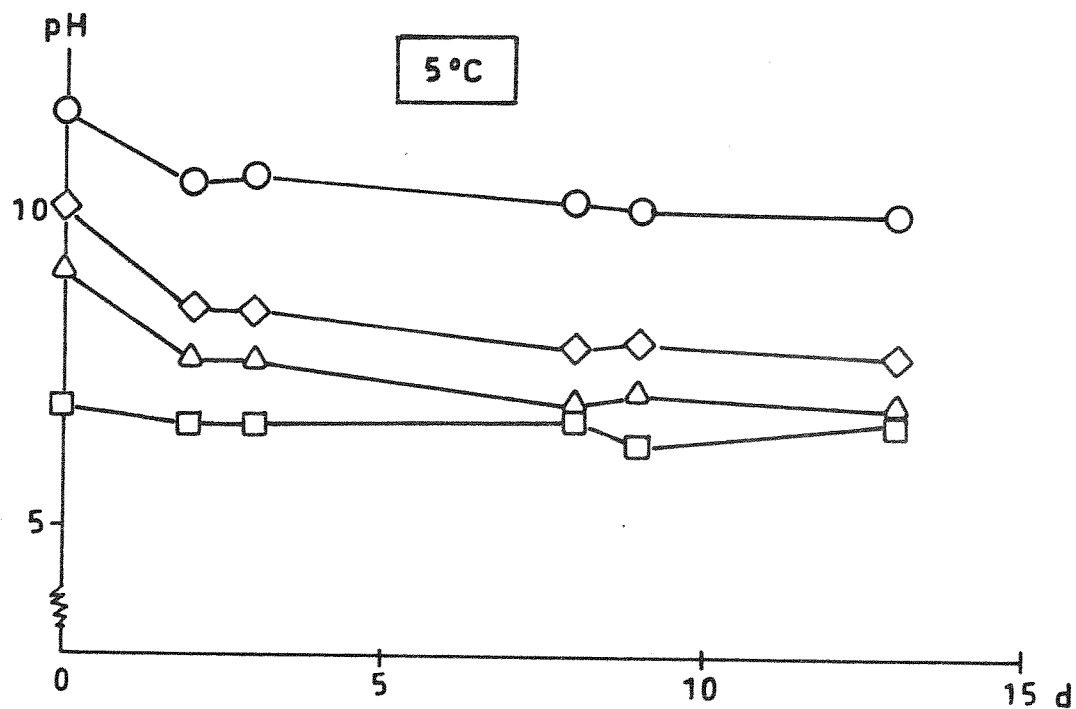


Kuva 13. Raakalietteen pH:n muuttuminen ajan funktiona
 Fig. 13. pH of raw sludge as a function on time



Kuva 14. VÄliveden pH:n muuttuminen ajan funktiona

Fig. 14. pH of supernatant as a function of time



Kuva 15. Sentrifugoidun raakalietteen pH:n muuttuminen ajan funktiona

Fig. 15. pH of centrifuged raw sludge as a function of time

teistä joskin erot ajan mittaan tasoittuvat.

3.32 Tiivistetty liete

3.321 Koejärjestelyt

Lietenäytteitä otettiin kummastakin tiivistämisestä ja sekoitettiin keskenään. Näytteet otettiin alkuviikosta. Näytteisiin lisättiin ja sekoitettiin kalkkimaitoa, joka sisälsi kalkkia 40 g/l ja Finnferriä 3,5 g/l. Kalkin annostelu vaihteli välillä 0 - 26 % lietteen kuiva-ainemäärästä.

Näytteet jaettiin osiin, joita tutkittiin 15 vuorokauden ajan. Näytteitä säilytettiin $+5^{\circ}\text{C}$ ja $+25^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa. Osaa näytteistä säilytettiin jäätyneinä 6 - 7 vuorokautta ja sen jälkeen mainituissa lämpötiloissa.

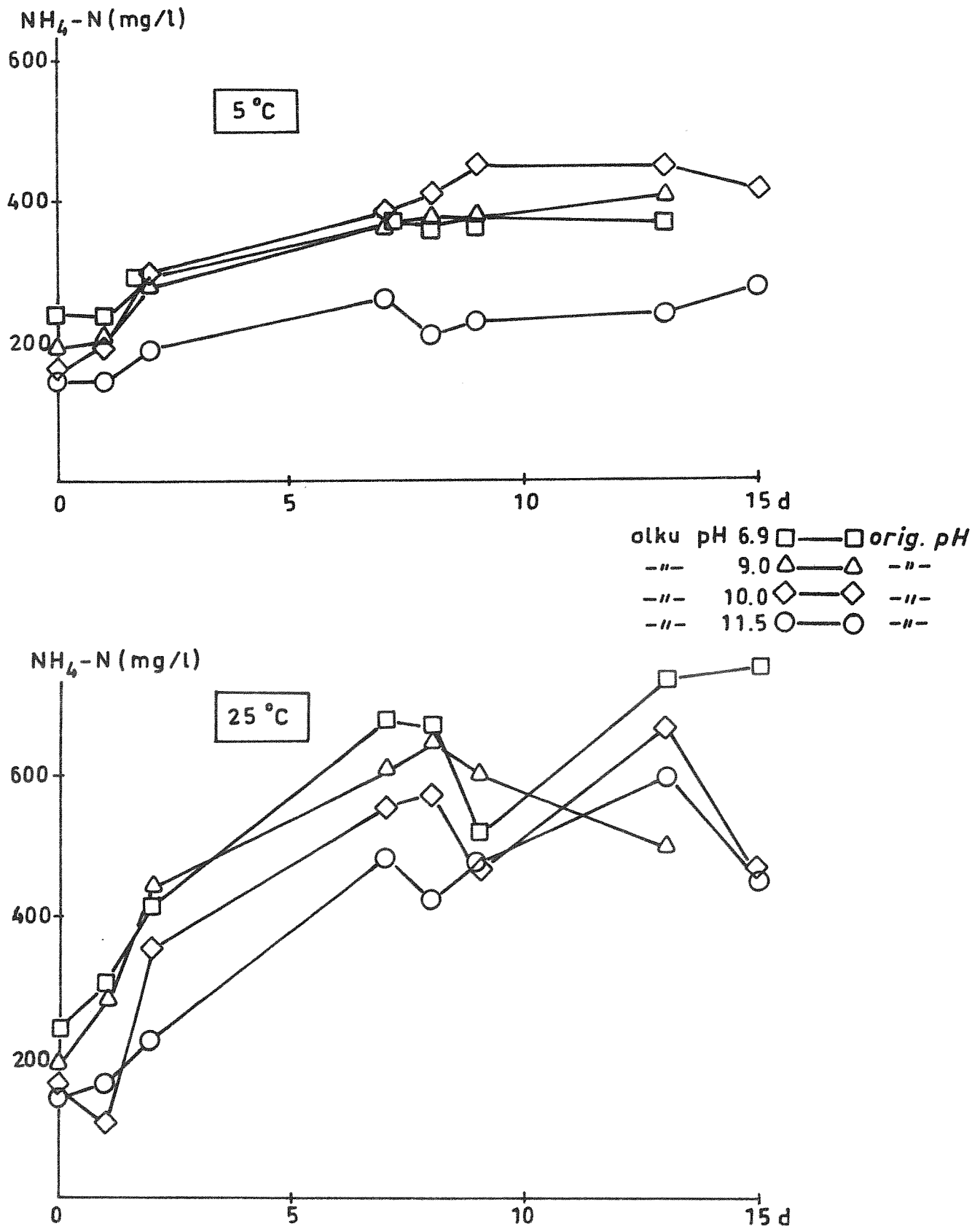
Näytteistä analysoitiin pH, $\text{NH}_4\text{-N}$ ja KMnO_4 -kulutus.

3.322 Tulokset

Näytteiden pH-arvojen muuttuminen on esitetty kuvassa 18 ja 19. Tässäkin tapauksessa näkyy jälleen selvästi lämpötilan vaikutus biologiseen aktiviteettiin. Pakastetuissa näytteissä ei pH muutu, mutta alkaa sen sijaan sulamisen jälkeen kehittyä aivan samalla tavoin kuin jäädyttämättömissäkin näytteissä.

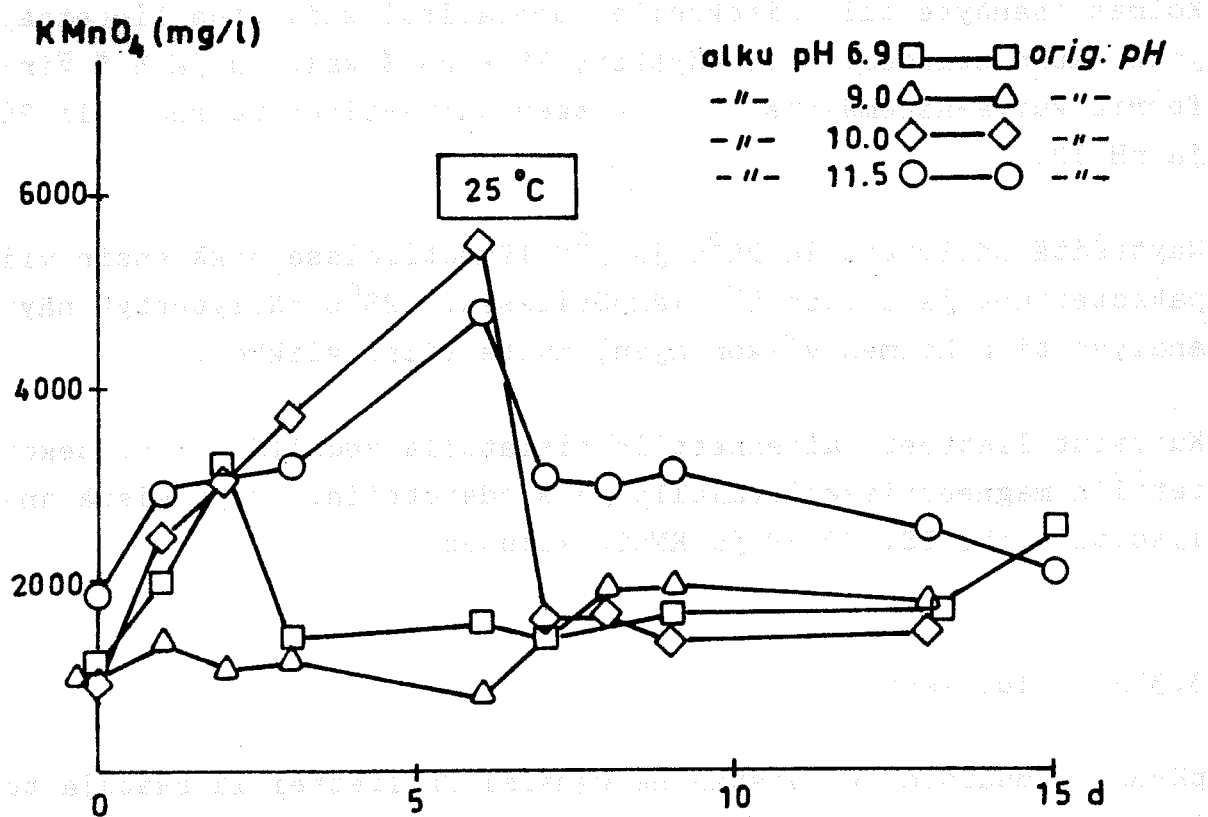
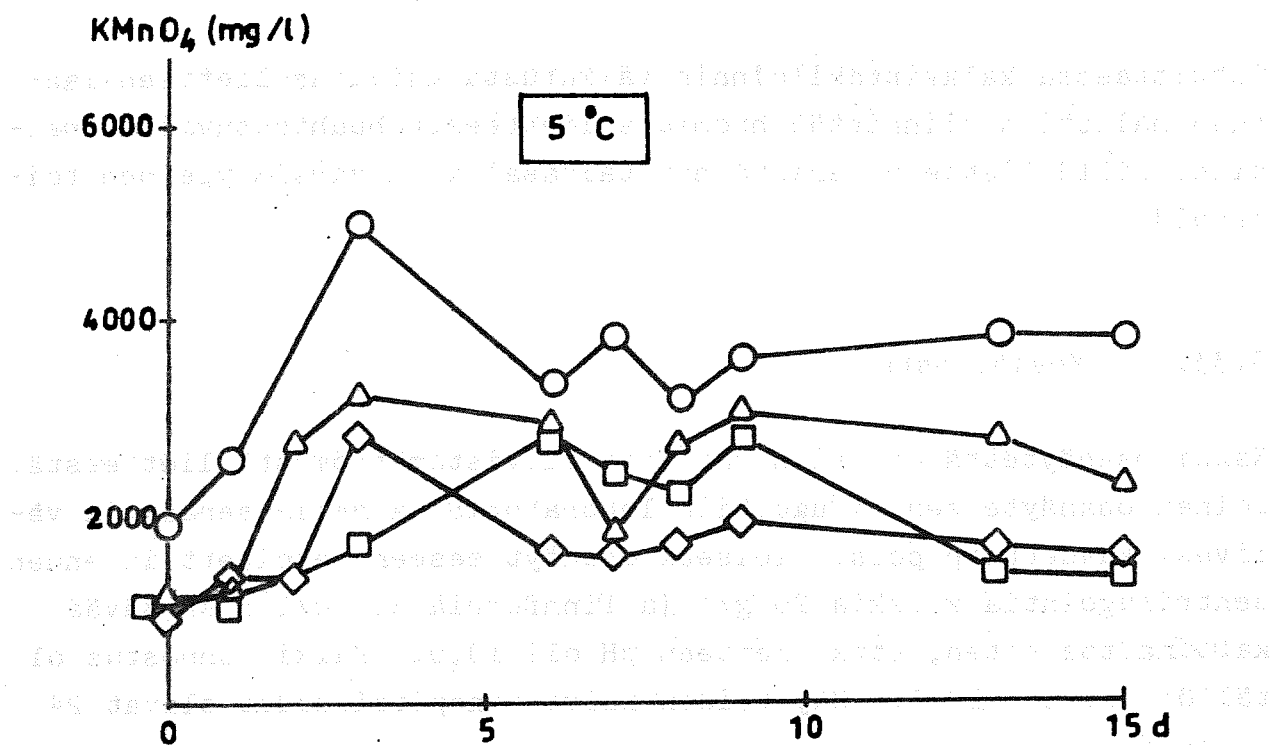
Ammoniumtypen muuttuminen on esitetty kuvassa 20. Eniten kalkitettu liete sisältää vähimmin ammoniumtypeä, jonka määrä lisääntyy biologisen aktiviteetin johdosta kaikissa näytteissä.

Kemiallinen hapenkulutus on selvästi suurin eniten kalkituslietteessä (kuva 21).



Kuva 16. Raakalietteen $\text{NH}_4\text{-N}$ pitoisuuden muuttuminen ajan funktiona

Fig. 16. $\text{NH}_4\text{-N}$ in raw sludge as a function of time



Kuva 17. Raakalietteen KMnO_4 -kulutuksen muuttuminen ajan funktiona

Fig. 17. The permanganate value of raw sludge as a function of time

3.33 Kuivatettu liete

Tutkittaessa kalkkistabiloinnin vaikutusta kuivatun lietteen laatuun haluttiin kiinnittää huomiota lietteestä huuhtoutuviin aineisiin, sillä lietteen varastointi taivasalla on varsin yleinen toimenpide.

3.331 Koejärjestelyt

Kaksi osanäytettä otettiin raaka-asta tiivistämättömästä lietteestä. Toinen osanäyte sentrifugoitiin laboratoriossa sellaisenaan ja välivesi kaadettiin pois. Toiseen osanäytteeseen sekoitettiin ennen sentrifugointia kalkkia 20 g/l ja Finnferriä 3,5 g/l sisältävää kalkkimaitoa siten, että lietteen pH oli 10,0. Kalkin annostus oli tällöin n. 9 - 10 %. Näytteiden kuiva-ainepitoisuudet olivat 24 ja 35 %.

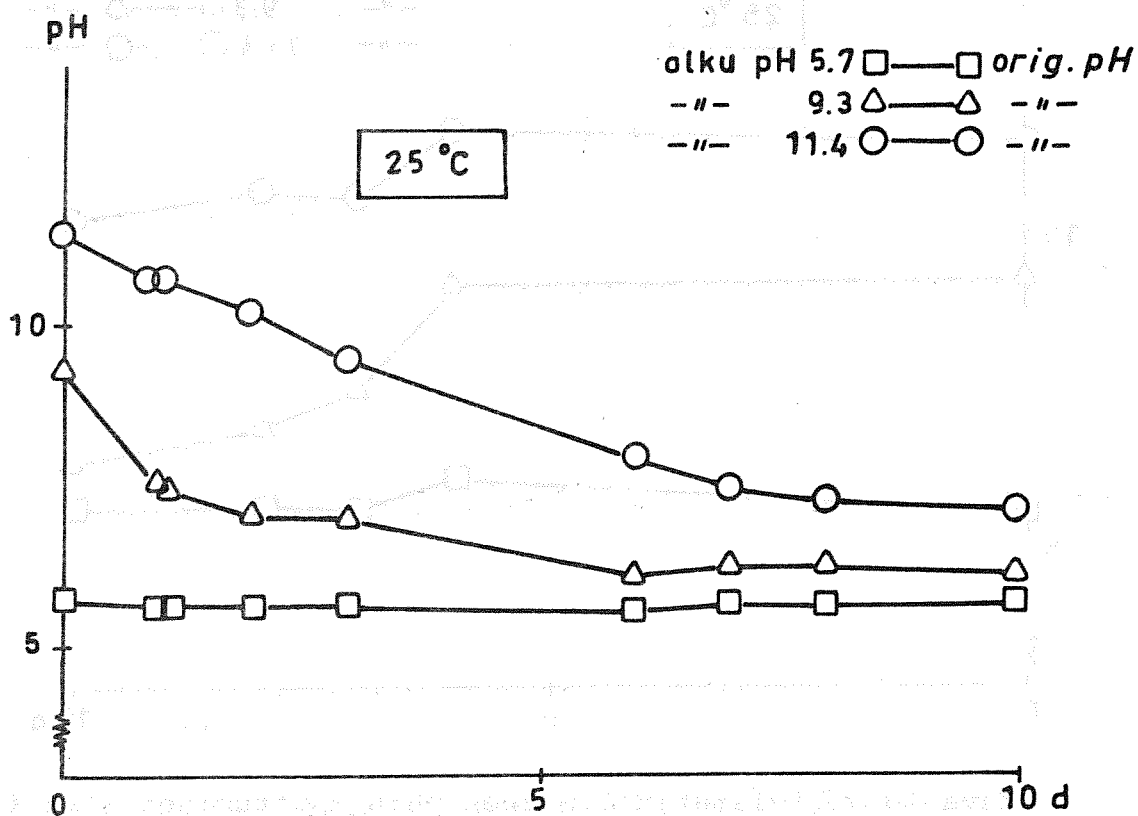
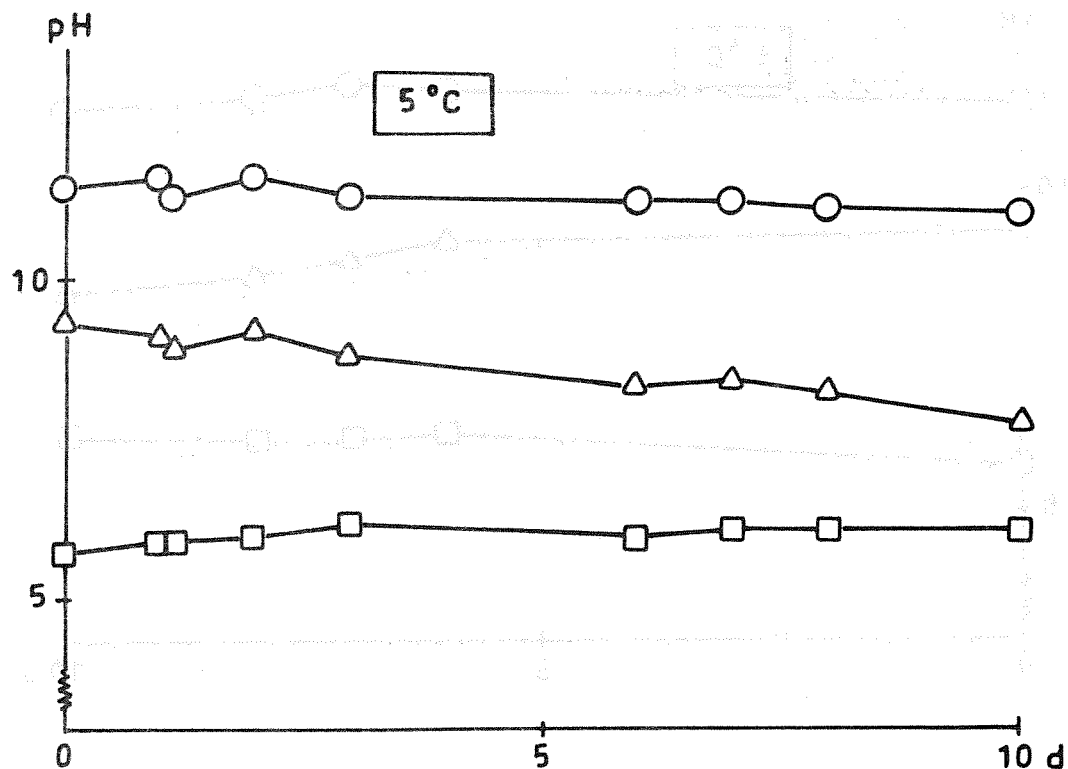
Kolmas osanäyte oli laitoksella normaalisti kuivattua lietettä, jonka kunnostuksessa oli käytetty 15 - 20 % kalkkia ja 5 % Finnferriä kuiva-ainemäärästä. Lietteiden kuiva-ainepitoisuus oli 26 % ja pH 12,1.

Näytteitä säilytettiin 25°C ja 5°C lämpötiloissa sekä ensin viikko pakastettuna ja sitten 5°C lämpötilassa. 25°C säilytettyä näytettä analysoitiin kolmen viikon ajan, muita viisi viikkoa.

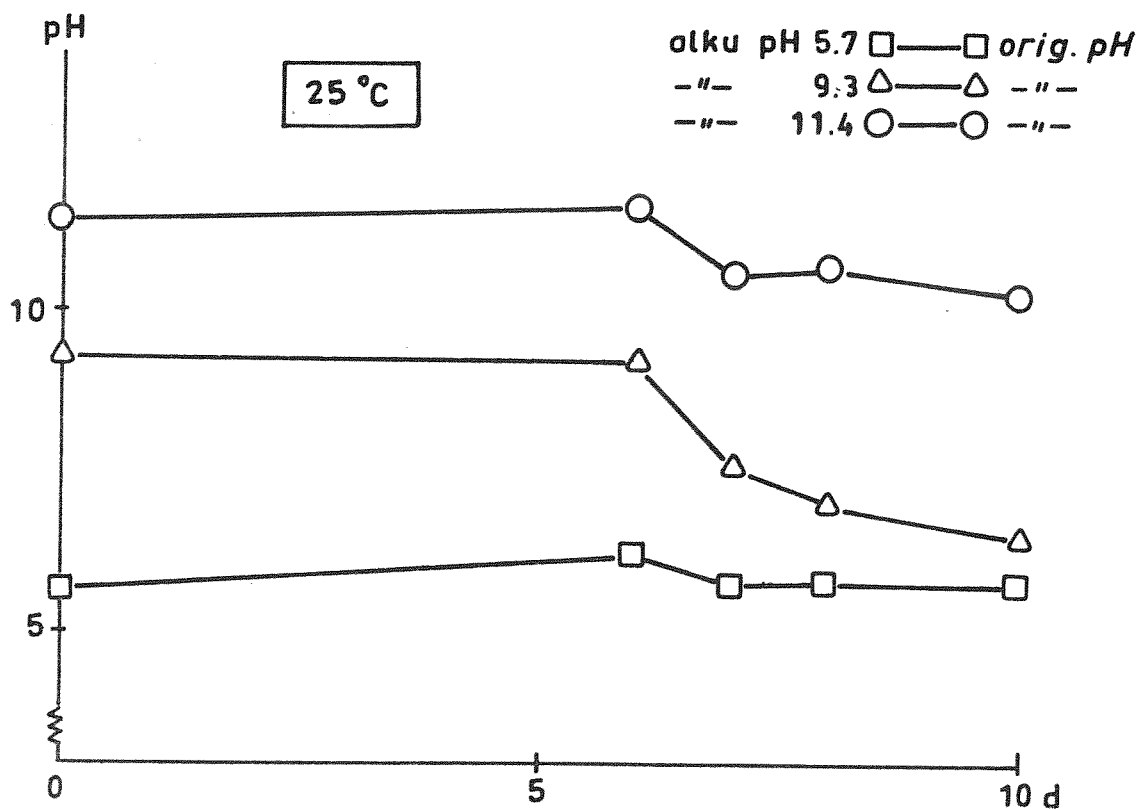
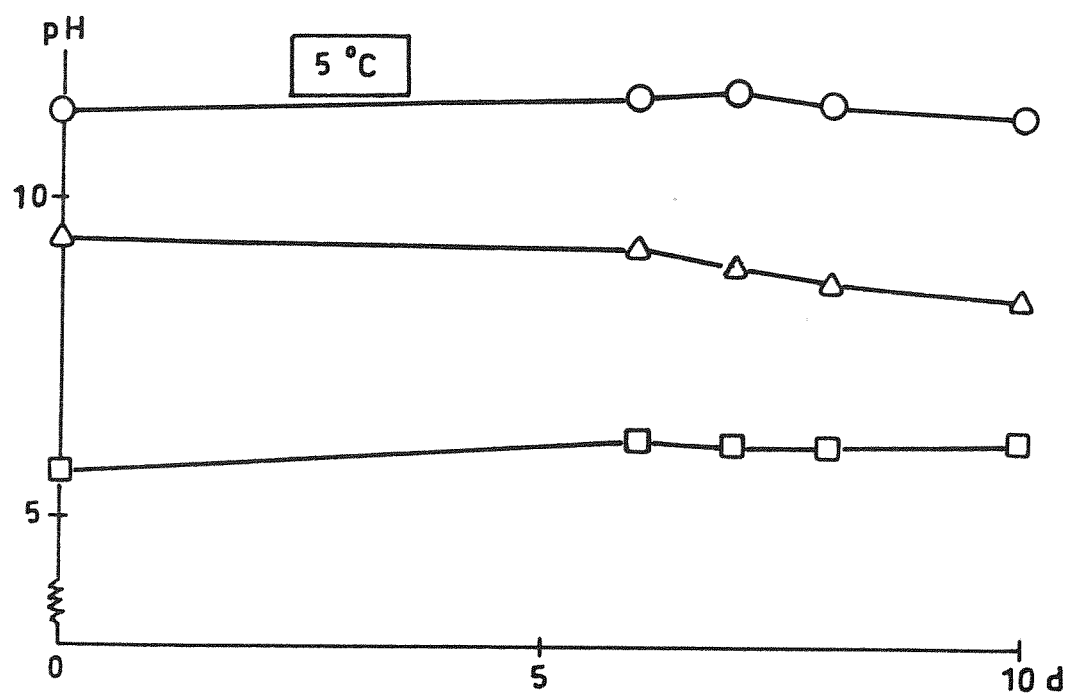
Kuivatut lietteet laimennettiin tislatusella vedellä 1 : 5, sekoitettiin magneettisekoittajalla ja suodatettiin. Näytteistä analysoitiin pH, TS, PO₄-P ja KMnO₄-kulutus.

3.332 Tulokset

pH-arvon muuttuminen vastaa nestemäisillä lietteillä saatuja tuloksia. Merkittävää pH:n laskua oli havaittu kalkitsemattomassa lietteessä, jonka pH jäi lietteen alunperin sisältämän kalkin johdosta noin arvoon 8. Keskimmäisen lietteen pH laski alussa nopeammin ja tasaantui sitten. Laitoksella kuivatun lietteen

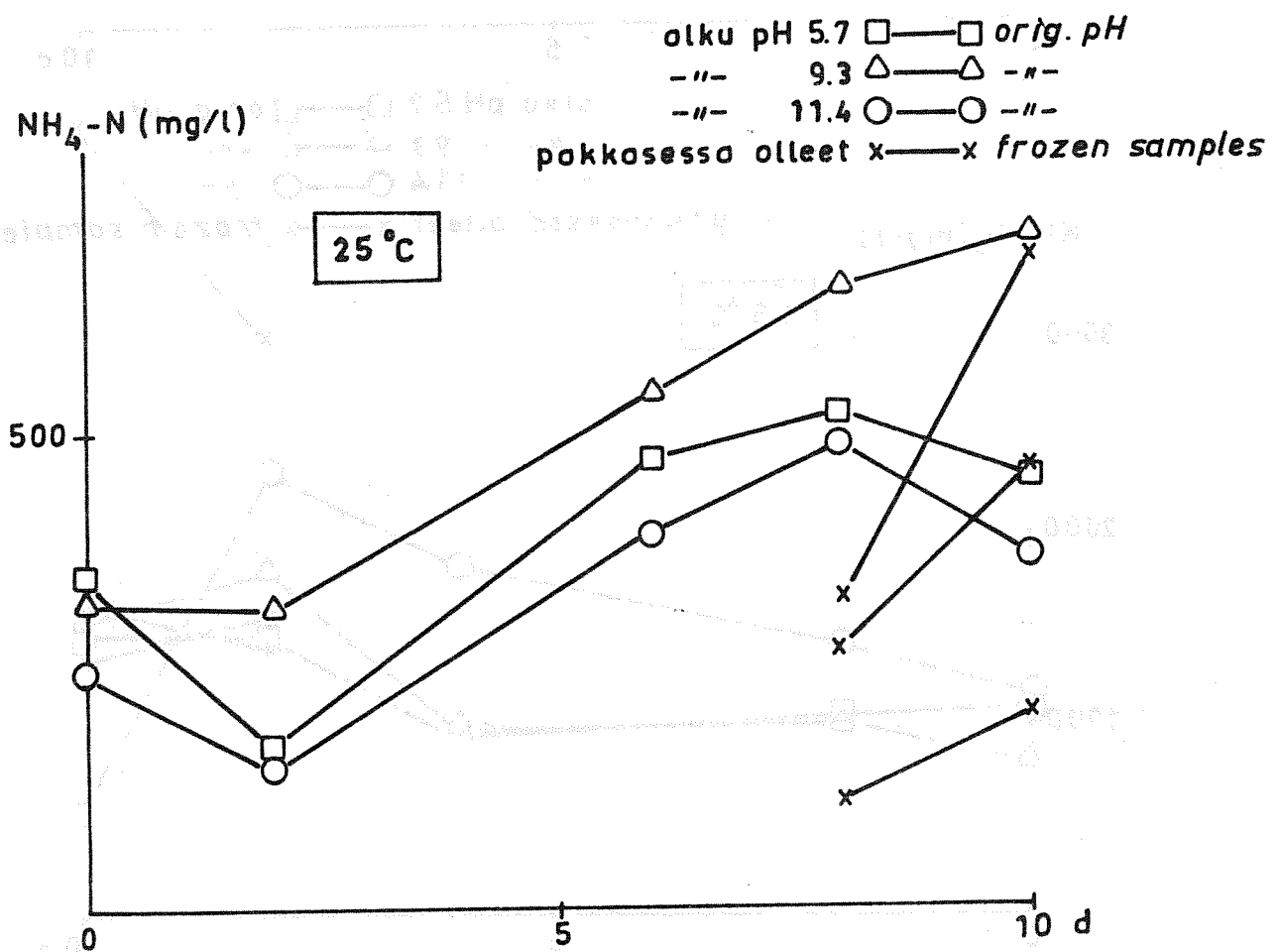
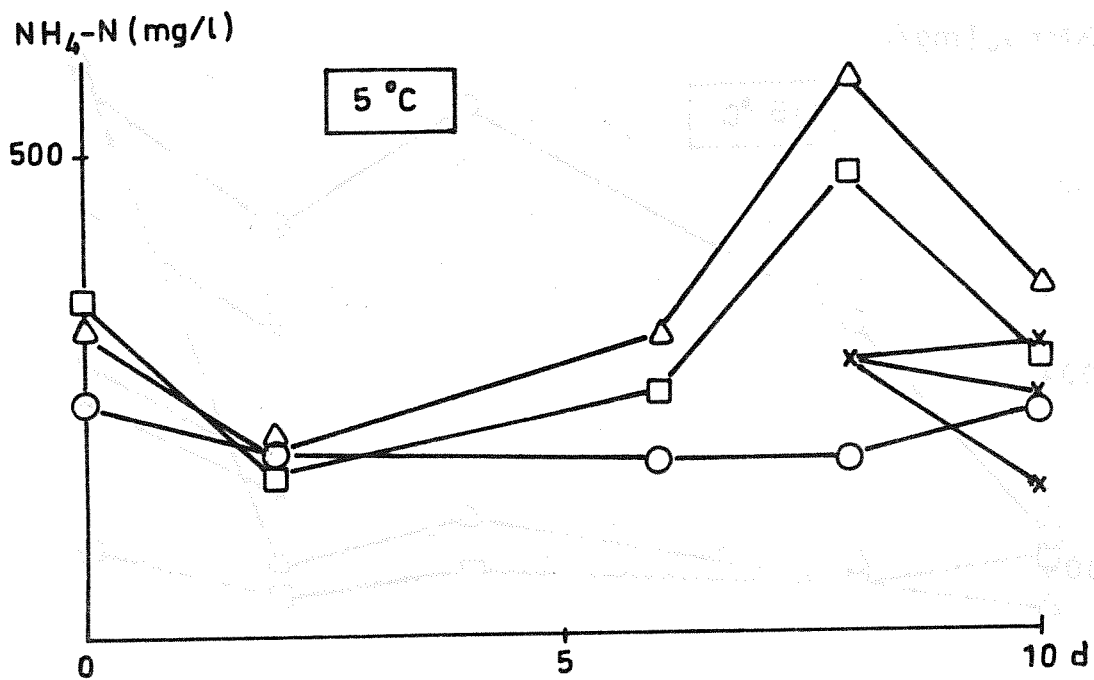


Kuva 18. Tiivistetyn lietteen pH:n muuttuminen ajan funktiona
 Fig. 18. pH of thickened sludge as a function of time



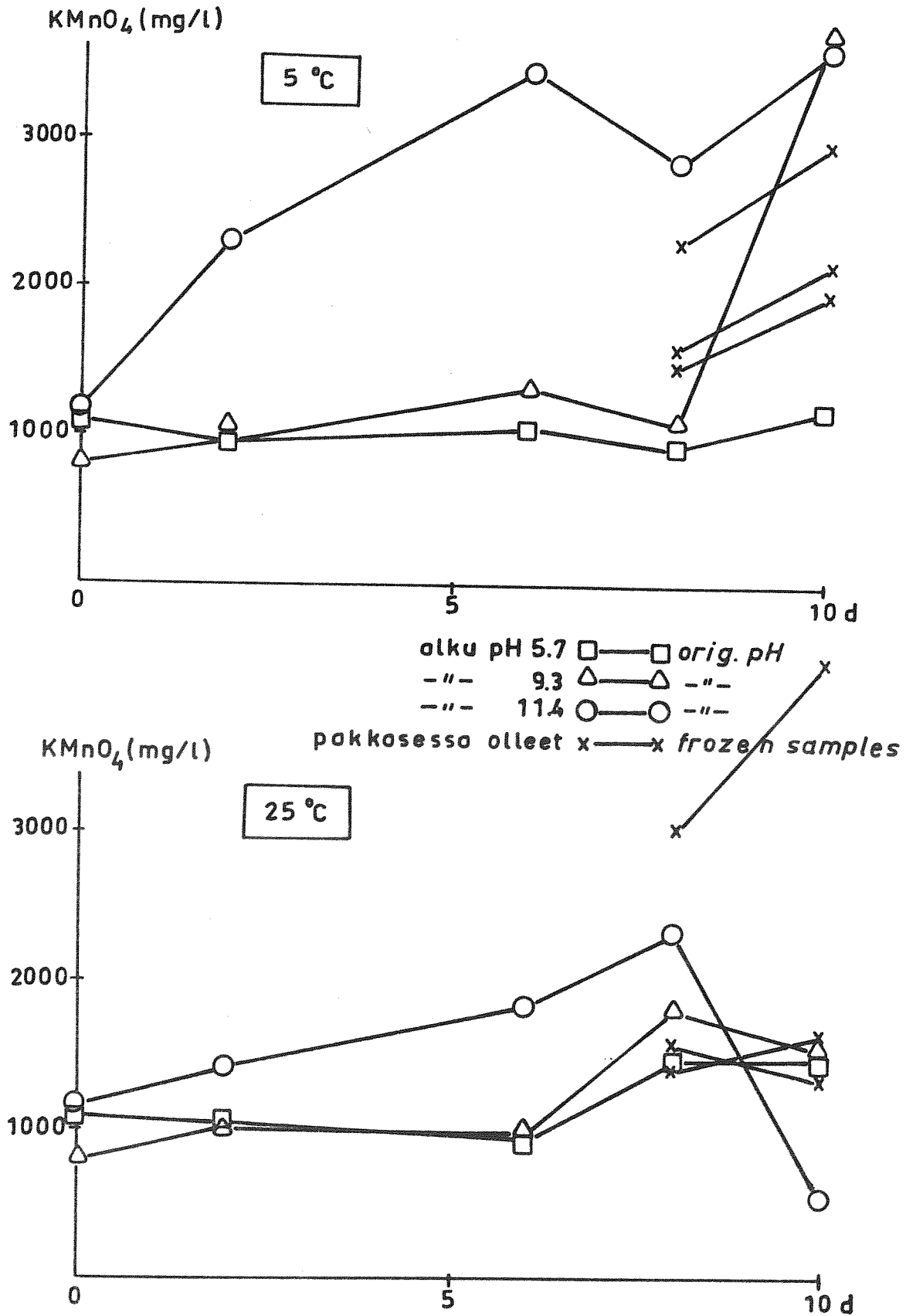
Kuva 19. Tiivistetyn lietteen pH:n muuttuminen ajan funktiona (ensin pakkaessa 6 d)

Fig. 19. pH of the thickened sludge as a function of time (frozen for 6 days at first)



Kuva 20. Tiivistetyn lietteen $\text{NH}_4\text{-N}$ määrän muuttuminen ajan funktiona

Fig. 20. $\text{NH}_4\text{-N}$ in thickened sludge as a function of time



Kuva 21. Tiivistetyn lietteen KMnO₄-kulutuksen muuttuminen ajan funktiona

Fig. 21. The permanganate value of thickened sludge as a function of time

pH sen sijaan nousi aluksi ja jäi sitten 11,3:n yläpuolelle.

KMnO₄-kulutus oli suurin kalkituissa lietteissä lukuunottamatta pakastettua näytettä, jossa se oli samaa luokkaa tai pienempi kuin muilla lietteillä (kuvat 22 - 24).

PO₄-P näytti aluksi sitoutuvan kalkittuun lietteeseen enemmän kuin kalkitseemattomaan, mutta pH:n laskun myötä pitoisuudet lähenivät toisiaan (kuva 25).

Kuiva-aineen pitoisuudet nousivat kylmemmässä lämpötilassa säilytetyissä näytteissä vähän.

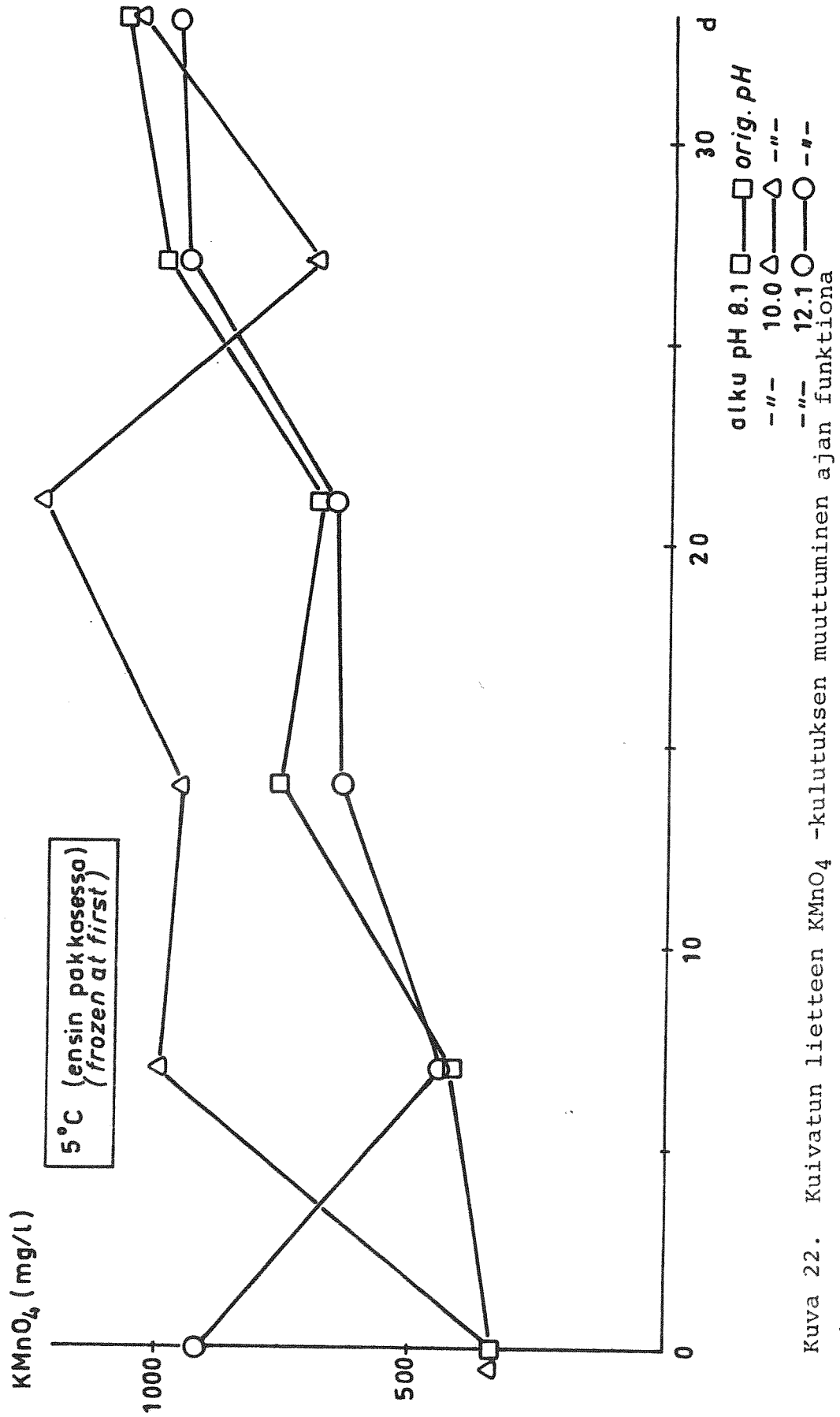
3.4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaikissa tutkimuksissa lietteissä voidaan todeta lämpötilan biologista toimintaa aktivoiva vaikutus. Tämä vaikutus näkyi erityisesti lietteen pH:n laskuna. Alhainen lämpötila hidastaa biologisia tapahtumia ja lietteessä tapahtuvia muutoksia. Pakastaminen (lietteen jäädyttäminen) pysäyttää tilapäisesti lietteen biologisen toiminnan, mutta sulamisen jälkeen on lietteen muuttumisnopeus suurempi kuin alkuperäisissä näytteissä.

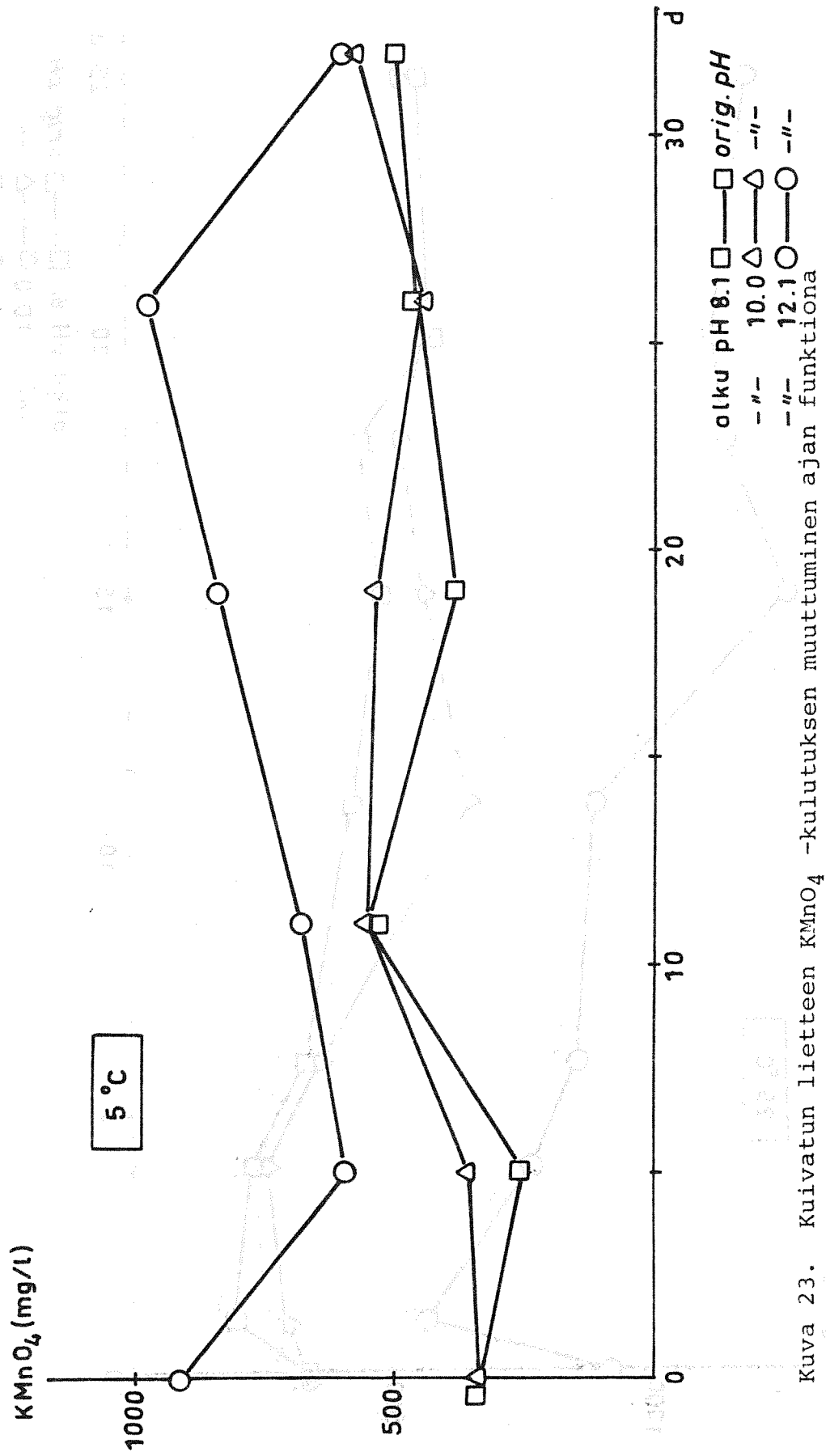
Raa'an lietteen biologinen hajoaminen on nopeampaa kuin tiivistämisessä viipyneellä, muutaman vuorokauden ikäisellä lietteellä.

Kalkkistabilointi on selvästi tilapäinen stabilointimenetelmä, ellei kalkkia annostella riittävästi. Mikäli lietteen stabiilisuutta arvioidaan COST 68 määritelmän perusteella ovat käytettävät kalkkimäärät suhteellisen suuria eli tutkitussa tapauksessa yli 15 % lietteen kuiva-ainemäärästä. Täysin hajuttomaksi ei lietettä saada kalkkistabiloinnissa, mutta ammoniakkin haju koetaan vähemmän epämiellyttäväksi kuin raa'an lietteen hajut. Sitäpaitsi ammoniumtypen haihtuminen on suhteellisen nopeaa ja pahimmat hajuhaitat vähenevät pian.

Lämpötilan vaikutus kalkkistabiloinnissa tulisi ottaa huomioon, mikäli pyritään vain määräaikaiseen stabilointivaikutukseen ja ha-

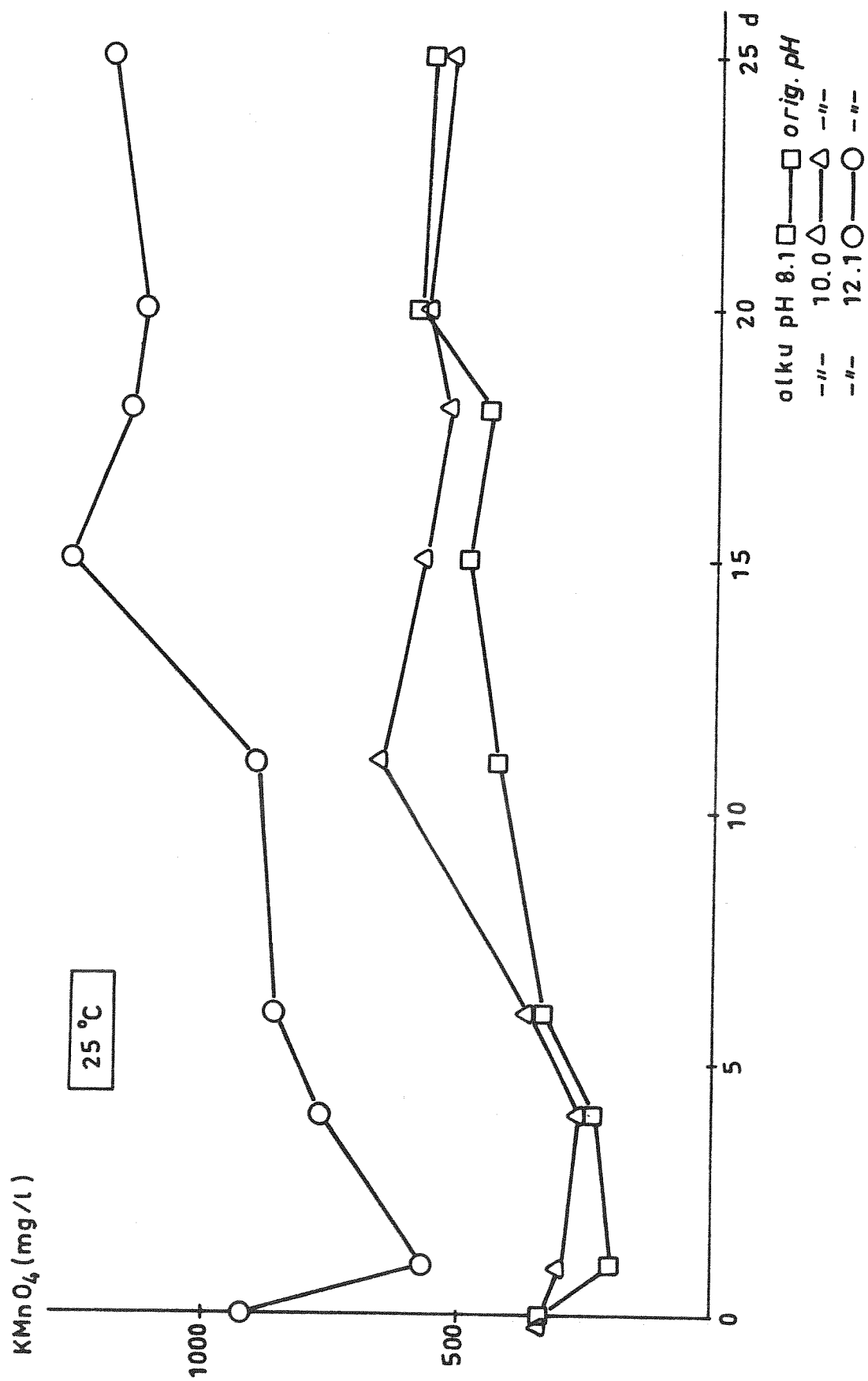


Kuva 22. Kuivatun lietteen KMnO₄ -kulutuksen muuttuminen ajan funktiona
 Fig. 22. The permanganate value of the sludge cake as a function of time



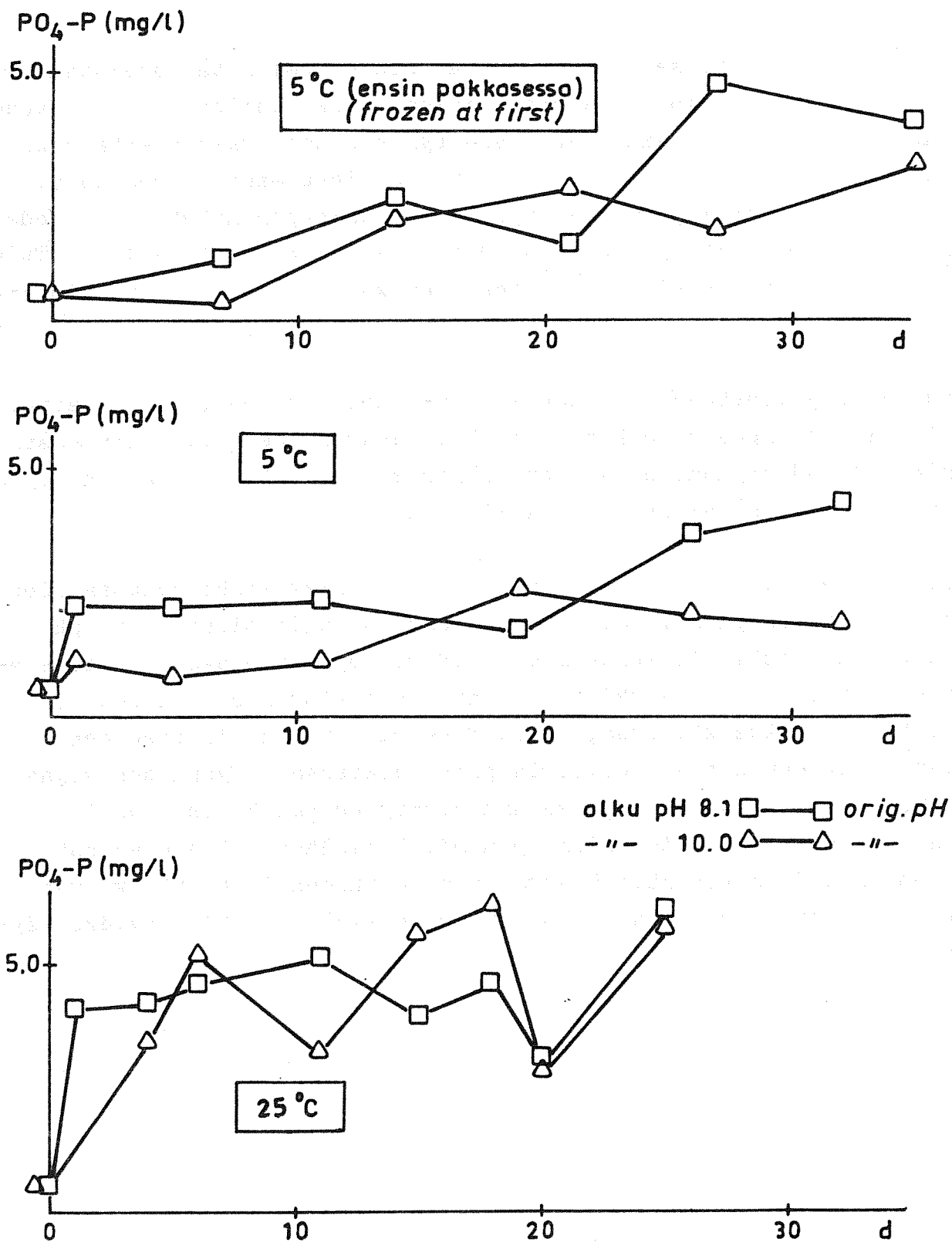
Kuva 23. Kuivatun lietteen KMnO₄ -kulutuksen muuttuminen ajan funktiona

Fig. 23. The permanganate value of the sludge cake as a function of time



Kuva 24. Kuivatun lietteen KMnO_4 -kulutuksen muuttuminen ajan funktiona

Fig. 24. The permanganate value of the sludge cake as a function of time



Kuva 25. Kuivatun lietteen $\text{PO}_4\text{-P}$ määrän muuttuminen ajan funktiona

Fig. 25. $\text{PO}_4\text{-P}$ in the sludge cake as a function of time

lutaan säästää kalkin käyttöä. Kylmänä aikana voidaan lietteen hajuhaittoja vähentää selvästi pienemmin kalkkimäärin kuin lämpimällä säällä.

Kalkkistabilointi saattaa aiheuttaa lisäkuormitusta puhdistamalla, sillä korkea pH aiheuttaa proteiinien pilkkoutumista ja lieteveden happea kuluttavien aineiden lisääntymisen noin kaksinkertaiseksi kalkitsemattomaan tai vähän kalkittuun lietteeseen verrattuna. Alkaalinen hydrolyysi lisää myös ammonium-typen määrää lietevedessä, joskin ammonium-tyyppi saattaa haihtua korkeissa pH-arvoissa. Tulokset vastaavat hyvin norjalaisten tekemien kalkkistabilointitutkimusten tuloksia /53/.

Kuivatusta lietteestä liukenee lika-aineita veteen, joka saattaa olla likaisempaa kuin käsittelemätön asumisjätevesi. pH:n nostaminen lisää orgaanisen aineen liukenemista. Nämä seikat on syytä ottaa huomioon varastoitaessa lietettä.

Lieteveden liuenneen fosforin määrä oli kalkkistabiloidussa lietteessä varsin pieni. Jos kalkkilisäys on niin pieni, että pH laskee nopeasti, liukenee myös fosfori nopeasti takaisin lieteveeseen. Näin ollen kalkkistabilointi on fosforin osalta edullinen lietteen hyväksikäytössä, sillä fosfori sitoutuu lietteeseen vapautuakseen sitten pelloilla pH:n laskiessa. Tyyppi sen sijaan vähenee kalkkistabiloinnissa ammoniumtypen haihtuessa suurilla kalkkiannoksilla. Ammoniumtypen määrä lisääntyy lietevedessä pienemmällä kalkin käyttömäärillä palatakseen lietettä kuivattaessa lieteveden mukana puhdistamolle eikä siis tule hyväksikäytetyksi.

4. STABILOINNIN VAIKUTUS LIETTEEN KOOSTUMUKSEEN

4.1 YLEISTÄ

Lietteen käsittelyä koskevassa kirjallisuudessa on selostettu jonkin verran stabiloinnin vaikutuksia lietteen laatuun. Tutkitut

parametrit ovat kuitenkin useimmiten liittyneet menetelmän käyttö-tekniikkaan eikä niissä ole tarkasteltu hyväksikäytön kannalta tärkeitä lietteen laatutekijöitä. Stabiloinnin mitoitusta koskevat kirjoitukset kuvaavat sitäpaitsi lähes ideaalisesti toimivia käsittely-yksiköjä. Näitä ei kentältä kovin usein tapaa, vaan erilaiset ja eriasteiset häiriöt huonontavat stabilointiprosessien tehokkuutta merkittävästi käytännössä.

Mitoitusohjeet ovat alunperin lähtöisin ulkomailta ja niiden soveltaminen meillä sellaisenaan tuo vaikeuksia niin poikkeavien ilmasto-olosuhteiden kuin erilaisten kemiallisten lietteidenkin johdosta. Stabilointimenetelmien toiminta ja tuotetun lietteen laatu saattavat poiketa paljonkin odotuksista.

Stabilointimenetelmien vaikutusta lietteen hyväksikäyttöarvoon tutkittiin vuosien 1974 - 1976 aikana. Tavoitteena oli käytännön tulosten saaminen keskivertolaitoksilta näiden normaalin toiminnan aikana.

Tarkoituksena oli myös tarkistaa, kuinka hyvin aikaisemmin esitetyt tiedot lietteen ravintoarvosta pitävät paikkansa. Taulukossa 4 on esitetty eräs tällainen arvio.

Taulukko 4. Lietteiden ominaisuuksia Pohjoismaissa /19/.
Table. 4. Sludge quality in Scandinavian countries /19/.

Parametri (% TS:tä)	Biologinen <i>Biological</i>		Rinnakkaissaostus <i>Simultaneous precipitation</i>	
<i>Parameter (% of TS)</i>	Raaka <i>Raw</i>	Stabiloitu <i>Stabilized</i>	Raaka <i>Raw</i>	Stabiloitu <i>Stabilized</i>
VS	75	40	55-65	40-50
N	8	4,8	7	2,5
P	1	1,4	3,3	3,1
K	0,22	0,35	0,18	0,22
Ca	1,6	2,6	1,3	2,3

4.2 TUTKITUT PUHDISTAMOT

Lietenäytteitä hankittiin yhteensä 84 kaikkiaan 29 puhdistamolta. Jäteveden käsittely puhdistamoilla jakautui seuraavasti:

- rinnakkaissaostus 17 kpl
- biologinen puhdistus 8 kpl
- mekaaninen käsittely 1 kpl
- jälkisaostus 1 kpl

Kahdella puhdistamolla muutettiin prosessia tutkimusaikana, toisella mekaanisesta suorasaostukseksi ja toisella biologisesta rinnakkaissaostukseksi.

Liete stabiloitiin laitoksilla seuraavalla tavalla:

- mädätys 9 kpl
- lahotus 9 kpl
- kalkkistabilointi 4 kpl

Kolme puhdistamoa toimi lisäksi pitkäilmastusperiaatteella ja niiden lietettä voidaan pitää lahotettuna.

4.3 TUTKITUT PARAMETRIT

Biologisen stabiloinnin vaikutus kohdistuu lietteen orgaanisen aineen määrään. Mädätys ja lahotus vaikuttavat sen lisäksi niiden aineiden määriin, jotka esiintyvät orgaanisissa yhdisteissä. Kalkkistabiloinnin vaikutusmekanismi poikkeaa biologisista menetelmistä eikä sillä pitäisi olla suurta merkitystä orgaanisen aineen absoluuttisiin määriin. Luvussa 3 on kuitenkin esitetty tutkimustuloksia, joiden mukaan orgaanista ainesta liukenee lieteveeteen.

Ravinteiden lisäksi on tunnettava lietteen hivenaine- ja raskasmetallipitoisuudet, jotta voitaisiin arvioida lietteen vaikutuksia maanviljelyssä. Raskasmetalleja ei tässä vaiheessa sisällytetty tutkimuksiin, sillä niiden pitoisuuksia kartoittava liete-tutkimus oli juuri tehty. Tutkimuksessa ei löydetty eroja eri tavoin stabiloitujen lietteiden välille, toisin sanoen raskasmetallit seuraavat ilmeisesti epäorgaanisen aineen kulkua. Kalk-

kisaostuksen lietteissä pitoisuudet olivat pienempiä kuin muissa lietteissä. Tästä ei kuitenkaan voida tehdä mitään johtopäätöksiä, sillä toisaalta lietemäärä lisääntyy kalkin lisäyksen johdosta, toisaalta taas korkeat pH-arvot kykenevät saostamaan raskasmetalleja tehokkaasti lietteeseen /23/.

Tutkittaviksi parametreiksi valittiin kuiva-aine (TS), orgaaninen aine (VS) ja pääravinteet (N,P,K). Lisäksi tutkittiin lietteiden Ca- ja Na-pitoisuudet.

Tämän luvun tuloksia tarkasteltaessa on kiinnitettävä huomiota siihen, että mädätys ja lahotus vähentävät lietteen kokonaismäärää, jota kalkkistabilointi puolestaan lisää merkittävästi. Lietteiden laatu on kuitenkin ilmoitettu suhteellisina arvoina, joten jonkin parametrin absoluuttisen määrän muutosta ei voi suoraan nähdä lukuarvoista.

4.4 MENETELMÄT

Puhdistamoilta haettiin lietenäytteet, jotka kuljetettiin suoraan vesihallituksen laboratorioon ja analysoitiin.

Kuiva-aine (105°) ja hehkutushäviö eli orgaaninen aine (550°C) määritettiin COST 68 suositusten mukaisesti /4/. Kokonaistyyppi ja -fosfori määritettiin vesihallituksessa käytössä olevilla menetelmillä /9/. Typpimääritykset tehtiin aluksi kuivatuista näytteistä. Koska eräät kalkkilietteiden märät rinnakkaisnäytteet poikkesivat huomattavasti kuivatuista, siirryttiin analysoimaan ainoastaan märkiä näytteitä. Kalium, kalsium ja natrium määritettiin hehkutuksen jälkeen AAS:llä.

4.5 TULOKSET

Kunkin puhdistamon analyysitulokset on esitetty liitteessä 4. Yhteenveto analyysituloksista on esitetty taulukoissa 5 ja 6. Kemiallisen käsittelyn vaikutus näkyy selvästi lietteiden kohonneina fosforipitoisuuksina. Lietteiden biologinen stabilointi ei liuota fosforia lietteestä. Mädätys sen sijaan vähentää lietteiden typpipitoisuutta.

Kalkkistabilointi vähentää typen määrää ammoniumtypen haihtumisesta johtuen. Kalkkistabilointi vähentää myös lietteen orgaanisen aineen suhteellista osuutta. Syitä ovat sekä epäorgaanisen aineen määrän lisääntyminen kalkkistabiloinnissa että proteiinien kemiallinen pilkkoutuminen korkeissa pH-arvoissa. Kaliumin ja natriumin määrät lietteessä ovat merkityksettömän pieniä. Kalkin määrä puolestaan riippuu vain siitä, onko kalkkia lisätty jäteveden tai lietteen käsittelyn yhteydessä. Magnesiumia ei määritetty, mutta muualta saadut tiedot osoittavat, että magnesiumin määrä lietteessä on suoraan verrannollinen kalkin määrään ja vaihtelee välillä 0,3 - 4 % kuiva-aineesta.

Taulukko 5. Biologisten lietteiden keskimääräinen laatu.

Table. 5. Average quality of biological sludges.

Parametri	Raaka nestem.	Mädätetty		Lahotettu		Kalkkistabiloitu	
		Nestem.	Kuiva	Nestem.	Kuiva	Nestem.	Kuiva
Parameter	Raw liquid	Anaer. digested Liquid Dewat.		Aer. digested Liquid Dewat.		Lime stabilized Liquid Dewat.	
TS (%)	3,2	3,7	16	-	-	7,7	22
VS	65	58	55	-	-	41	35
N	4,4	3,9	3,5	-	-	2,2	1,6
P % TS:stä	1,7	1,9	2	-	-	1,2	0,8
K % of TS	0,4	0,4	0,3	-	-	0,2	0,2
Ca	3,7	3,5	3,3	-	-	16	22

Taulukko 6. Rinnakkaissaostuslietteiden keskimääräinen laatu.

Table. 6. Average quality of sludges from simultaneous precipitation.

Parametri	Raaka nestem.	Mädätetty		Lahotettu		Kalkkistabiloitu	
		Nestem.	Kuiva	Nestem.	Kuiva	Nestem.	Kuiva
Parameter	Raw liquid	Anaer. digested Liquid Dewat.		Aer. digested Liquid Dewat.		Lime stabilized Liquid Dewat.	
TS (%)	2,0	6,4	20	1,9	13	-	15
VS	61	51	47	56	60	-	57
N	3,8	3,6	2,9	3,5	4	-	3,1
P % TS:stä	2,7	3,5	3,7	2,7	3,2	-	2,0
K % of TS	0,5	0,2	0,2	0,5	0,4	-	0,4
Ca	2,3	2,4	2,2	1,7	2,6	-	16

4.6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Rinnakkaissaostus lisää lietteen fosforimääriä ja lisää täten lietteen hyväksikäyttökelpoisuutta biologisiin lietteisiin verrattuna. Fosfori on sitoutunut lietteeseen siten, että sen määrä ei vähene lietettä käsiteltäessä.

Sekä orgaanista ainetta että typpeä on suunnilleen yhtä paljon niin rinnakkaissaostuksesta saatavissa kuin biologisissakin lietteissä. Kaikki lietteen käsittelytoimenpiteet vähentävät orgaanisen aineen ja typen pitoisuuksia. Mikäli lietettä käytetään hyväksi maataloudessa, olisi ilmeisen edullista käyttää liete nestemäisenä ja raakana. Raakaliete saattaa kuitenkin häiritä maan normaalia elintoimintaa jonkin aikaa. Nestemäisen lietteen käyttöä vaikeuttavat ilmasto-olosuhteet ja käytännön varastointiongelmien pienilläkin laitoksilla. Käytännössä on siis pakko suorittaa jonkinasteinen lietteen käsittely hyväksikäytön edistämiseksi ja ympäristöhaittojen torjumiseksi.

Tutkimuksessa saadut ravinteiden määrät ovat pienempiä kuin kirjallisuudessa esitetyt. Selityksenä voi olla aiemmin esitetty kirjallisuuden optimismi ja tutkittujen laitosten mahdolliset käyttöhäiriöt fosforin saostamisessa. Tutkimuksessa saadut lukuarvot vastaavat kuitenkin todellista käytäntöä ja niitä on syytä käyttää lietteen hyväksikäyttöarvoa arvioitaessa mieluummin kuin kirjallisuudessa esitettyjä arvoja.

5. STABILOINNIN VAIKUTUS LIETTEEN TAUDINAIHEUTTAJIIN

Jäteveden mukana tulevista patogeeneista osa tuhoutuu puhdistusprosessissa, osa joutuu poistoveteen ja suuri osa lietteeseen. Raakalietteen patogeenisien mikrobien lajisto ja määrät heijastavatkin hyvin viemäriverkon piiriin kuuluvan väestön yleistä terveydellistä tilaa.

Jätevesilietteessä esiintyvät patogeenit voidaan jakaa kolmeen ryhmään: bakteerit, virukset ja muut patogeenit. Kaikissa näissä ryh-

missä on ihmisten ja eläinten patogeeneja.

Lietteen stabiloinnin tarkoituksena on amerikkalaisen näkemyksen mukaan myös lietteen patogeenien organismien määrän vähentäminen /41/. Eri stabilointimenetelmien tehosta taudinaiheuttajiin on esitetty kirjallisuudessa varsin vehteleviä näkemyksiä. Tutkimusten tarkoituksena oli selvittää käytännön olosuhteissa saavutettavia tuloksia, jotta kyettäisiin paremmin arvioimaan stabiloinnin merkitystä tautivaaran vähentämisessä ennen lietteen hyväksikäyttöä. Tutkimuksiin valitut puhdistamot valittiin käytännöllisistä syistä läheltä Helsinkiä tai muuten sopivien kulkuyhteyksien päästä. Kaikki laitokset toimivat täysin jokapäiväisellä rutiinilla, joten tutkimusten usein aiheuttama keinotekoinen prosessien paraneminen kyettiin välttämään. Tulokset edustavat siis käytännössä saavutettavia keskimääräisiä muutoksia lietteen laadussa. Tutkimusten motiivina oli myös vertailu ulkomaisiin lähteisiin, joissa on esitetty melko hyviä patogeenien vähenemisiä, mutta joissa toisaalta on käsitelty riittämättömästi meillä käytössä olevia stabilointimenetelmiä (taulukko 7).

5.1 SUOLISTOBAKTEERIT JA PATOGEENISET BAKTEERIT

Jäteveden aiheuttamaa tautivaaraa pyritään perinteisesti arvioimaan runsaasti esiintyvien suolistobakteerien perusteella, sillä kaikkia tautibakteereita on mahdotonta tutkia käytännössä luke mattomien lajien ja pienten lukumäärien johdosta. Lietteen hygieenistä tilaa arvioitaessa käytetään jätevesille tarkoitettuja määrityksiä.

Tässä tutkimuksessa katsottiin aiheelliseksi tutkia kolibakteereja, koska niiden analysointi on jo muodostunut rutiiniksi kaikkialla. Clostridium perfringens valittiin toiseksi tutkimuskoh teeksi, koska se poikkeaa ominaisuuksiltaan aerobisista bakteereista ja muodostaa kestäviä itiöitä. Salmonellojen tutkiminen on perusteltua näiden yleisyyden ja merkittävyuden johdosta.

Luku 5.1 perustuu suurimmaksi osaksi DI Armi Tukian vesihallituksessa tekemään diplomityöhön /55/. Salmonellaserotyypit tutkittiin Valtion eläinlääketieteen laitoksella.

Taulukko 7. Lietteiden käsittelymenetelmien suhteellinen tehokkuus eri patogeeneiden vähentäjänä tai niiden eliniän lyhentäjänä /40/.

Table. 7. Relative efficacies of various methods of sludge treatment in reducing numbers of different pathogens or their time of survival /40/.

Lietteiden käsittely Sludge Treatment	Suhteellinen vähenemä Relative reduction		
	Huono Poor	Kohtalainen Moderate	Hyvä Good
Raakalietteiden varastointi Raw sludge storage	<u>Ascaris</u> munat <u>Ascaris</u> ova <u>Taenia</u> munat <u>Taenia</u> ova	Virukset Viruses Bakteerit Bacteria	
Mädätys Digestion	<u>Ascaris</u> ova <u>Taenia</u> munat <u>Taenia</u> ova	Suolinkaisen munat Hookworm ova	Virukset Viruses Bakteerit Bacteria <u>Entamoeba</u> kystat <u>Entamoeba</u> cysts Peruna-ankeroisen kystat Potato eelworm cysts
Kompostointi Composting			Virukset Viruses Bakteerit Bacteria Sienet Fungi Loisten munat Helminth ova
Kalkkikäsittely Lime treatment	<u>Ascaris</u> munat <u>Ascaris</u> ova		Bakteerit Bacteria
Lämpökäsittely Heat treatment			Virukset Viruses Bakteerit Bacteria Loisten munat Helminth ova
Säteilyttäminen Irradiation	Itiöt Spores	<u>Ascaris</u> munat <u>Ascaris</u> ova Virukset Viruses	Bakteerit Bacteria

5.11 Patogeeniset bakteerit

Salmonella

Salmonelloja on 1 500 serotyyppiä, joita kaikkia pidetään patogeenisina ihmiselle ja/tai eläimille. S.typhi aiheuttaa lavantaudin, S.paratyphi pikkulavantaudin ja S.typhimurium hiirilavantaudin. Muut salmonellat aiheuttavat eriasteisia suolistoinfektioita /48/.

Lavantauti ja usein myös pikkulavantauti ovat vaikeita kuumetauteja, joissa kuume voi kestää korkeana viikkokausia, kun taas muissa salmonellooseissa kuumeen kesto aika jää yleensä alle viikon. Lavantaudissa infektoiva bakteerimäärä voi olla erittäin pieni, vain 1 - 5 bakteeria on riittävä annos. Lavantaudin leviämislle on merkityksellistä, että noin 2 - 4 % sairastuneista jää bakteerinkantajiksi, jollaisina he voivat olla koko loppuelämänsä /45/.

Pikkulavantaudissa infektoiva annos on huomattavasti suurempi kuin lavantaudissa ja bakteerinkantajaksi jääminen on jonkin verran vähäisempää (noin 1%) /45/. Muissa salmonellooseissa infektoiva annos on $5 \times 10^5 \dots 10^{11}$ bakteeria /32/.

Shigella

Shigella aiheuttaa bakteeriellin punataudin (dysenteria) sekä eriasteisia ripulitapauksia. Shigella-bakteerin aiheuttamia tautitapauksia on maassamme ilmennyt viime aikoina vain muutamia. Aiheuttajat ovat olleet joko Sh.flexneri tai Sh.sonnei /48/. Taudinkuvaan kuuluu muutaman päivän kestävä ripuli, jolloin ulosteissa usein on verta. Kuumetta esiintyy myös usein /45/.

Escherichia

Escherichia-suvun bakteereita on yleisesti totuttu pitämään terveydelle vaarattomina hygieenisinä indikaattoreina. Escherichia-suvussa on myös patogeenisiä serotyyppieitä, jotka voivat aiheuttaa virtsatiehyttulehduksen, munuaistulehduksen tai ruokamyrkytyksen /48/.

Klebsiella

K.pneumoniae aiheuttaa vakavan suolistotulehduksen lapsille sekä keuhkokuumeen, aivokalvontulehduksen ja vatsakalvontulehduksen. Myöskin aikuisten virtsatiehyttulehdus voi olla K.pneumoniae aiheuttama /48/.

K.pneumoniae muodostaa ympärilleen hyytelökapselin, joka tekee sen suhteellisen kestäväksi ulkoisia vaikutuksia vastaan. K.pneumoniae saattaa säilyä elinkykyisenä vaikka muut hygieniaindikaattorit tuhoutuvat /48/.

Clostridium

Clostridium aiheuttaa ihmiselle kaasukuolion, suolistotulehduksen sekä eläimille dysenterian /48/. Clostridium-suvun bakteerit ovat anaerobeja ja ne pystyvät muodostamaan itiöitä, jotka ovat erittäin kestäviä ulkoisia vaikutuksia vastaan. 20 - 30 % terveiden ihmisten ulosteista sisältää C.perfringensia /36/.

Mycobacterium

M.tuberculosis aiheuttaa tuberkuloosin sekä ihmisessä että eläimissä. M.tuberculosis kestää hyvin ulkoisia vaikutuksia. Suurimman riskin M.tuberculosis muodostaa, kun puhdistamon piiriin kuuluu keuhkotautiparantola /48/.

Vibrio

V.comma aiheuttaa koleran /48/. Koleran taudinkuvaan kuuluu voimakas ripuli, kuivuminen ja hemokonsentraatio. V.comma häviää ulosteista yleensä jo kolmannella sairausviikolla. Pitkäaikaisia oireetomia bakteerinkantajia ei tavata. Kolera on eräs niistä taudeista, jotka saattavat ilmestyä yllättäen infektoituneiden matkailijoiden välityksellä /45/.

5.12 Kirjallisuuskatsous mädätys- sen vaikutuksiin

5.121 Mädätys

Salmonellat

Langley et al. /27/ ovat tutkineet S.typhin kykyä käyttää lietettä ravintonaan mädättämössä. S.typhi pystyi elämään mädättämössä valitsevilla pelkistävissä olosuhteissa käyttäen lietettä ravintonaan. Mädättämön kaasukehä pyrki alentamaan S.typhin kasvunopeutta. S.typhi säilyy hengissä mädättämössä vain silloin, kun se kykenee käyttämään tryptofaania, joka on sille välttämätön aminohappo.

Brunner /3/ on tutkinut S.typhimuriumin ja S.enteritidisin säilymistä mädätyksessä. Näitä salmonelloja sisältävä silkkinen harsokangas sijoitettiin rautaputkenpalaseen, joka laskettiin lähes mädättämön pohjaan. Putkeen oli porattu reikä, joten putken sisällä olivat samat olosuhteet kuin mädättämössä. Mädättämön lämpötila oli keskimäärin 12°C ja viive 12 viikkoa (84 d). S.typhimurium säilyi 125 d ja S.enteritidis 143 d. Tämän jälkeen tehtiin laboratoriossa lavakuivauskokeita. Kuivattavaan lietteeseen oli upotettu em. salmonelloja sisältäviä harsokankaita. Mädättämössä olleet salmonellat säilyivät kuivauksessa 4...5 viikkoa. Ne salmonellat, jotka eivät olleet mädättämössä, havaittiin vielä 5 kk kestäneen lavakuivauksen jälkeen.

Müller ja Strauch /35/ ovat tutkineet kuuden Salmonella-lajin säilymistä lämmitetyssä ja lämmittämättömässä mädättämössä. Lämmitämättömässä mädättämössä lämpötila vaihteli alueella 10...18°C ja pH 7,0...7,9. Salmonellat elivät lämmittämättömässä mädättämössä enintään 11 kk. Lämmitetyssä mädättämössä lämpötila vaihteli eri kokeissa minimin ollessa 25...34°C ja maksimin 34...37°C. Mädättämön pH oli 7,0...7,3. Nopeimmin kuoli S.paratyphi B, joka säilyi mädättämössä 6...22 d. Pisin havaittu salmonellojen elin-aika oli 30 d.

Mc Kinney et al. /33/ ovat tehneet lietteen mädätyskokeita laboratoriomittakaavassa. Heidän tutkimansa jätevesilietteen S.typhi-

pitoisuus oli niin pieni, etteivät he käyttämällään menetelmällä (suora eristys vismuttisulfiittialustalle) kyenneet eristämään S.typhiä lietteestä ennen tai jälkeen mädätyksen. Niinpä päivittäisen raakalietaelisyksen yhteydessä mädättämöön lisättiin myös S.typhiä. Mädättämö, jonka viive oli 20 d, vähensi S.typhi-pitoisuutta 92 %. Mädättämö, jonka viive oli 6 d, vähensi 84 % S.typhi-pitoisuutta.

Grunnet /15/ on määrittänyt salmonelloja mädätetystä ja kuivatusta mädätetystä lietteestä. Salmonelloja löytyi kaikista mädätetyistä lietenäytteistä ja 87 % kuivatusta mädätetyistä lietenäytteistä sisälsi salmonelloja.

Silverstolpe /50/ on tutkinut Tukholman puhdistamoiden lietteiden salmonellapitoisuuksia. Tutkituista raakalietenäytteistä 85 % ja mädätetyistä lietenäytteistä 24 % sisälsi salmonelloja. Lietteen sisältämät salmonellat jakautuivat useaan serotyyppiin.

Leclerc ja Brouzes /30/ ovat tutkineet mädätystä laboratoriomittakaavassa. Mädättämön viive oli 25 d, lämpötila 35°C ja pH 7,0... 7,5. Raakalietteen salmonellapitoisuus oli 1... 1 000 kpl/100 ml lietettä. Mädätys vähensi salmonelloja niin että 15 % mädätetyistä lietteistä sisälsi niitä.

Hess ja Lott /18/ ovat tutkineet raakalietettä ja mädätettyä lietettä. Tutkituista raakalietteistä 92,7 % ja mädätetyistä lietteistä 88,8 % sisälsi salmonelloja. Mädätyksessä salmonellapitoisuus laski keskimäärin sadanteen osaan.

Findlay /11/ on tutkinut kahden jätevedenpuhdistamon lietteiden salmonelloja. Toisen jätevedenpuhdistamon 15 raakalietenäytteestä 8 sisälsi salmonelloja. Toisessa puhdistamossa 14 raakalietenäytteestä 4 ja 15 mädätetystä lietenäytteestä 3 sisälsi salmonelloja. Raakalietteen sisältämät salmonellat olivat S.paratyphi B, S.agona ja S.derby, mutta mädätetystä lietteestä löytyi vain S.agona.

Hales /17/ on tutkinut mädätettyä ja kuivatua mädätettyä lietettä. Mädätetyn lietteen 6 näytteestä kolme sisälsi salmonelloja. Kuivasta mädätetystä lietteestä otetuista 27 näytteestä yhdessä oli salmonelloja.

Rinne /46/ on tutkinut Helsingin jätevedenpuhdistamoissa syntyvien lietteiden salmonellapitoisuuksia. Tulokset ovat taulukossa 8. Erityisesti sarjassa olevat mädättämöt vähensivät lietteen salmonellapitoisuutta.

Taulukko 8. Helsingin raakojen ja mädätettyjen lietteiden salmonellapitoisuudet /46/.

Table. 8. *Salmonella* in raw and digested sludges in Helsinki /45/.

Liete <i>Sludge</i> n = näytteiden lukumäärä <i>n = number of samples</i>	Salmonellapitoisuuksien keskiarvot eri puhdistamoilla kpl/ml <i>Average concentrations of Salmonella in various treatment plants per ml</i>
Raaka (n = 6) <i>Raw</i>	5,0 ...220
Mädätetty ensimmäisen mädättämön jälkeen (n = 8) <i>Anaer. digested, after first digestion</i>	0,00...15
Mädätetty viimeisen mädättämön jälkeen (n = 3) <i>Anaer. digested, after last digestion</i>	0,00... 0,09

Muut bakteerit

Fuller ja Litsky /13/ ovat tutkineet mädätetyn lietteen E.coli-pitoisuutta laboratoriossa suoritetun lavakuivauskokeen aikana. Huoneen lämpötilassa tapahtuneessa, 80 d kestäneessä kuivauksessa E.coli-pitoisuus pieneni tuhanteen osaan. Samaan aikaan kokonaisbakteerilukumäärä kasvoi kymmenkertaiseksi.

Leclerc ja Brouzes /30/ ovat tutkineet lietteen mädätystä laboratoriomittakaavassa. Mädättämön viive oli 25 d, lämpötila 35°C ja pH 7,0...7,5. Kokonaisbakteerilukumäärä aleni 90...95 %. Enterobakteerien lukumäärä aleni sadanteen tai tuhanteen osaan.

Molina et al. /34/ ovat tutkineet mädätetyn lietteen bakteerisidisiä ominaisuuksia. Mädätetyssä lietteessä havaittiin termostabiili bakteeritoksiini, joka oli paremminkin mädätetyn lietteen neste-faasissa kuin kiinteässä faasissa. Laboratoriossa kasvatettu E.coli ATCC 11775 kuoli steriilissä, mädätetyssä lietteessä nopeammin kuin lietteestä eristetty E.coli.

Grigorieva et al. /14/ ilmoittavat kolimuotoisten bakteerien elävän mädätyksessä muutamista tunneista aina kahteen kuukauteen asti.

5.122 Lahotus

Irgens ja Halvorson /20/ ovat tutkineet lahotusta laboratorioon rakennetussa laitteistossa. He määrittivät koliformien pitoisuuksia ja saivat seuraavat tulokset:

raakaliete	8×10^6 kpl/ml lietettä
lahotettu liete	$0 \dots 10^2$ kpl/ml lietettä

Lietevedessä he eivät havainneet koliformeja. Koliformien määrittämiseen käytettiin eosini-metyleenisini-agaria ja viljely tapahtui 37°C :ssa 24 h. Koliformeina pidettiin kaikkia metallinkiiltoisia pesäkkeitä.

Hess ja Lott /18/ ovat tutkineet lietteiden salmonellapitoisuuksia. Raakalietenäytteistä 92,7 % ja lahotetuista lietenäytteistä 85 % sisälsi salmonelloja. Lahotuksessa salmonellat vähenivät keskimäärin sadanteen tai tuhanteen osaan.

Leclerc ja Brouzes /30/ ovat tutkineet kokonaisbakteerilukumäärän, enterobakteerien ja salmonellojen vähenemistä lahotusajan funktiona. Enterobakteerit ja kokonaisbakteerilukumäärä vähenivät sadanteen tai tuhanteen osaan ja salmonellojen lukumäärä aleni 80 %, kun lahotusaika oli 2 viikkoa.

5.123 Kalkkistabilointi

Useat patogeeniset bakteerit kasvavat optimaalisesti neutraalissa ympäristössä. Bakteerit ovat kuitenkin hyvin sopeutumiskykyisiä. Nopeasti tapahtuva voimakas ja pysyvä pH-muutos aiheuttaa kuitenkin useimpien bakteerien kuolemisen. Joillakin bakteereilla on erityisiä suoja mekanismeja, joiden avulla bakteerit elävät epäsuotuisissa olosuhteissa. Jotkut muodostavat itiöitä, jotka ovat bakteerien säilymismuotoja. Itiöt ovat huomattavasti vastustuskykyisempiä kuin vegetatiivisolut. Eräät suojaavat itseään hyytelömäisen kapselin avulla.

Trubnick ja Müller /54/ ovat tutkineet pH:n vaikutusta koliformeihin, kuva 26. Kuivatun raakalietteen pH:n nostamiseen käytettiin kalkkia. Kun pH nousi yli yhdeksän, alkoi koliformien nopea väheneminen.

Tullander /56/ on tutkinut lietteen bakteeriryhmien vähenemistä ajan funktiona, kun pH oli kalkkilisäyksellä kohotettu 11,5:een, kuva 27. Bakteerien kokonaislukumäärä väheni nopeasti. Vastustuskyvyttömimmät bakteerit olivat gramnegatiiviset, jotka hävisivät kokonaan 50 minuutissa. Grampositiivisia kokkeja esiintyi vielä 2 tunnin jälkeen. Grampositiiviset, itiöitä muodostavat bakteerit tulivat aikaa myöten hallitsevaksi ryhmäksi.

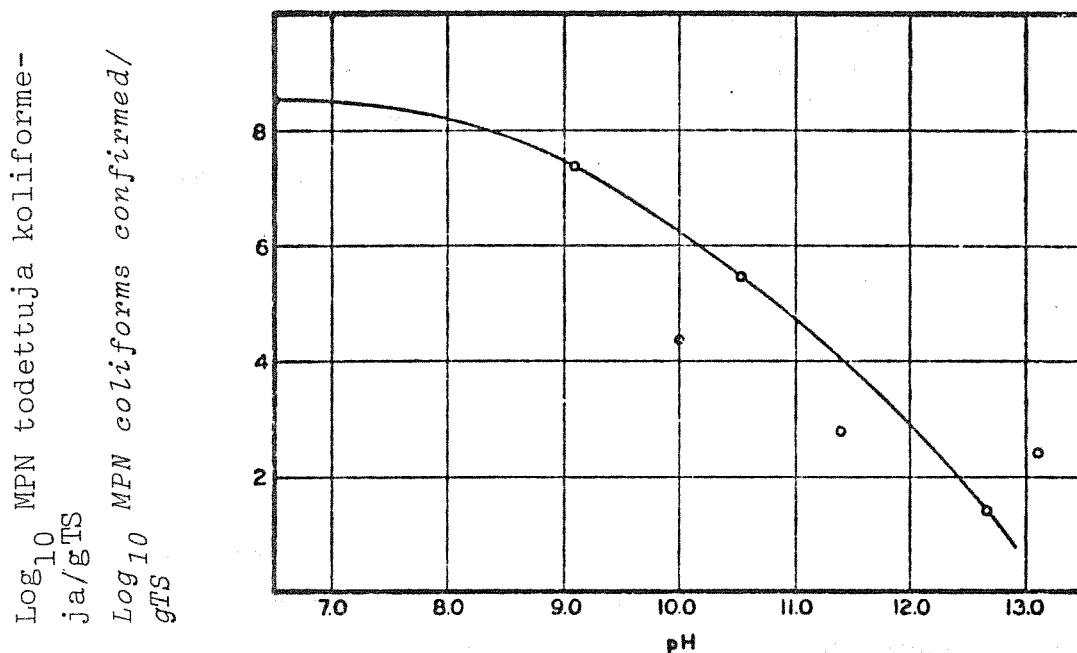
Doyle /7/ on havainnut S.typhii kuolevan kahdessa tunnissa, kun kuivatun kalkkistabiloidun lietteen pH oli 12,2. Koliformien pitoisuus vaihteli mielivaltaisesti välillä $1...10^7$ kpl/ml kuivatua lietettä.

Kampelmacher ja van Noorle Jansen /25/ ovat tutkineet kolmen hollantilaisen jätevedenpuhdistamon lietteiden bakteeripitoisuuksia. Raakalietteeseen lisättiin kalkkia (120...160 kg/t lietteen TS) ja ferrosulfaattia (20...100 kg/t lietteen TS). Kuivatun kalkkistabiloidun lietteen enterobakteeripitoisuus oli kahdessa puhdistamossa alentunut tekijällä 10^{-2} ja yhdessä puhdistamossa tekijällä 10^{-4} . Kaikissa puhdistamoissa oli raakalietteen salmonellapitoisten näytteiden lukumäärä (59...100 %) suurempi kuin kuivatun kalkkistabiloidun lietteen (4,9...13,5 %).

Farrel et al. /10/ lisäsivät raakalietteeseen kalkkia niin paljon, että lietteen pH oli 10,5, 11,5 tai 12,5. Kontaktiaika oli 0,5 tuntia. Kun pH oli 10,5 ei bakteerien määrä alentunut merkittävästi. Salmonelloja ei havaittu enää, kun lietteen pH oli 11,5. Tällöin Pseudomonas aeruginosan pitoisuus oli pienentynyt tekijällä 3×10^{-3} , fekaalisten streptokokkien pitoisuus tekijällä 0,17 ja koliformien pitoisuus tekijällä $2,8 \times 10^{-4}$.

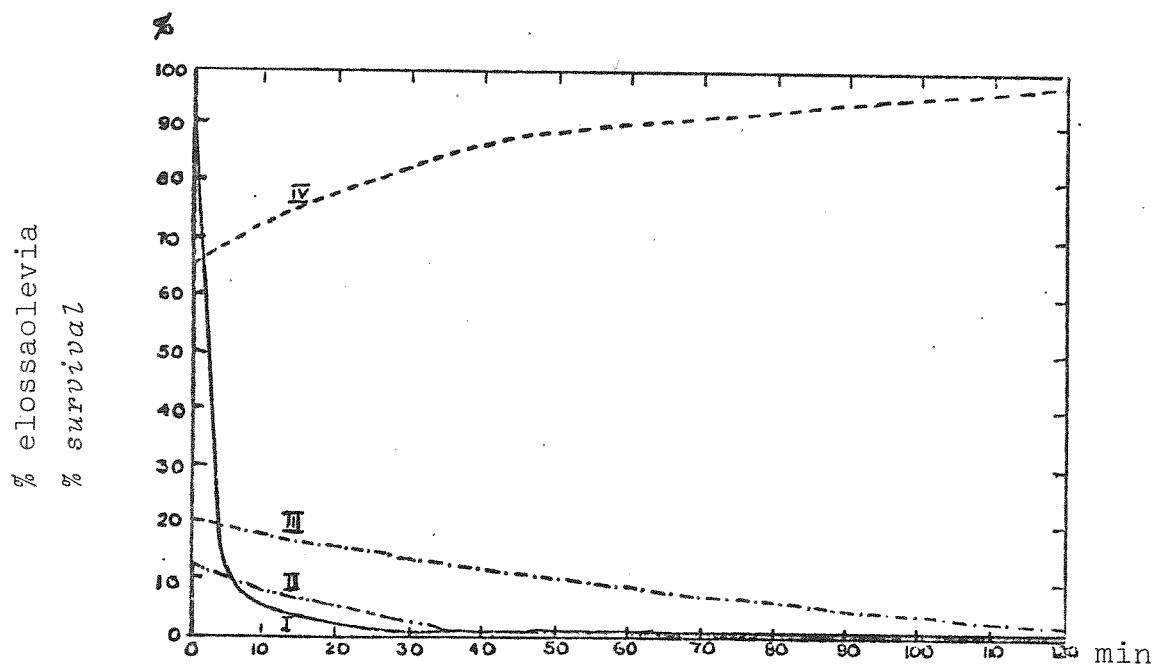
Paulsrud ja Eikum /39/ ovat mitanneet kalkkistabiloidun lietteen mikrobiologista aktiivisuutta määrittämällä lietteen ATP-pitoisuuden (ATP = adensiinitrifosfaatti). Biologisessa lietteessä havaittiin mikrobiologista aktiivisuutta vielä 4 d kuluttua kalkkilisäyksistä ($400 \text{ g Ca(OH)}_2/\text{kg SS}$).

Counts ja Shuckrow /5/ ovat tutkineet kalkkistabilointia pilot plant mittakaavassa. Kun lietteen pH oli vähintään 12 ja kontaktiaika 0,5 h, ei salmonelloja ja P.aeruginosaa havaittu kuin kerran 13 näyttekerrasta ja tällöinkin salmonellapitoisuus oli alentunut tekijällä 3×10^{-4} ja P.aeruginosan pitoisuus tekijällä 2×10^{-5} . Koliformien pitoisuutta kalkkistabilointi vähensi tekijällä $10^{-4} \dots 10^{-5}$ ja fekaalisten streptokokkien pitoisuutta tekijällä $0 \dots 10^{-4}$.



Kuva 26. pH:n vaikutus koliformipitoisuuteen /54/.

Fig. 26. The effect of pH on the number of coliforms /54/.



Kuva 27. Kalkkistabiloinnin vaikutus eri bakteeriryhmiin ajan funktiona alku pH 11,5 /56/.

I = kokonaispesäkeluku

II = gram-negatiiviset bakteerit

III = gram-positiiviset kokit

IV = gram-positiiviset sauvanmuotoiset bakteerit

Fig. 27. The effect of lime stabilization in different groups of bacteria as a function of time. Original pH 11,5. /56/.

I = total colony count

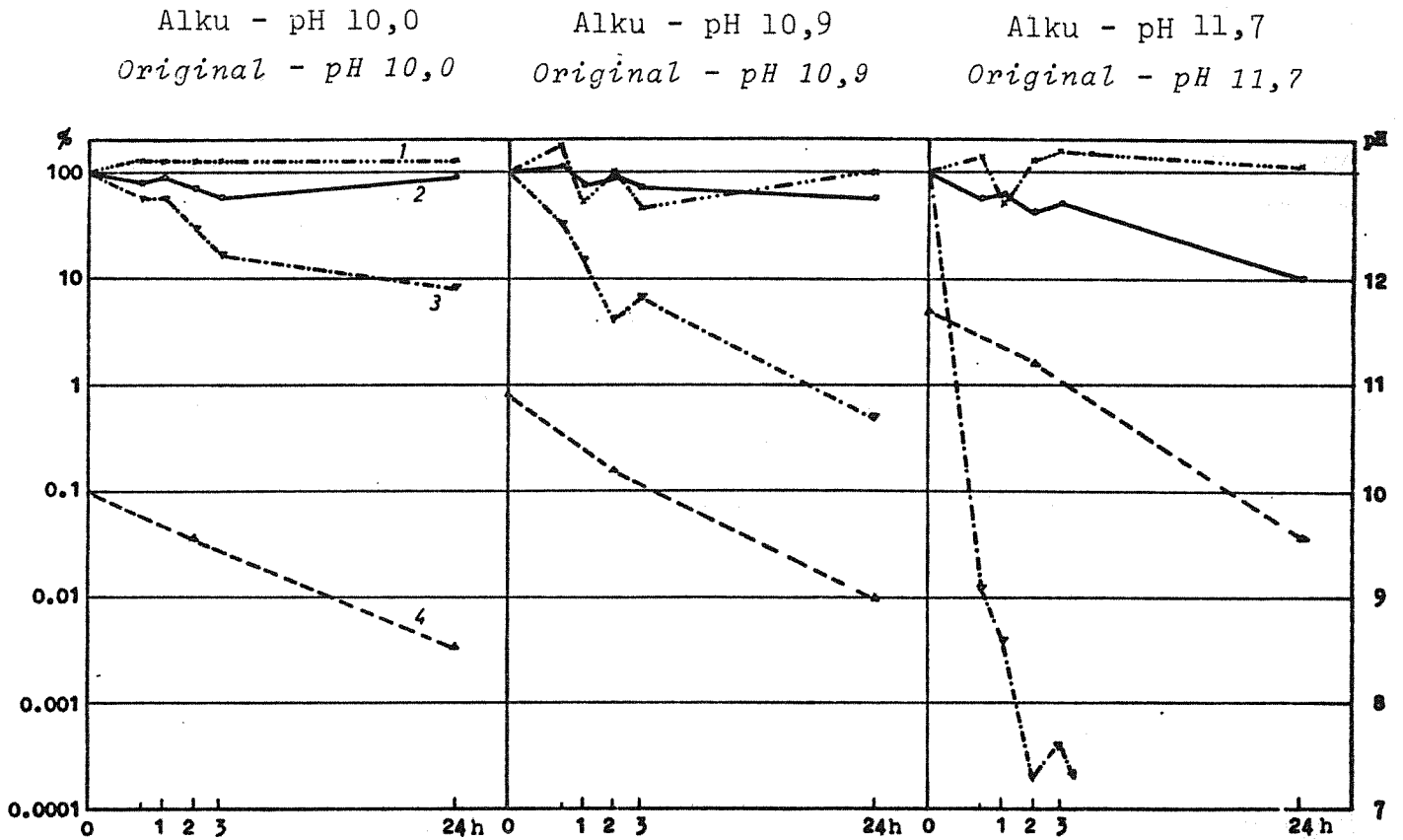
II = gram-negative bacteria

III = gram-positive cocci

IV = gram-positive rods

Kaila et al. /24/ ovat kokeissaan tutkineet kalkkilisäyksen aiheuttaman pH:n nousun vaikutusta raakalietteen bakteereihin, kuva 28. Kun raakalietteen pH nostettiin sammutetulla kalkilla 11,7:ään, niin 24 h kuluttua ei koliformeja enää havaittu, fekaalisten streptokokkien lukumäärässä oli tapahtunut 90 % väheneminen ja itiöllisen bakteerin Clostridium perfringensin pitoisuus oli hui-

kan noussut. Kun alkuperäinen pH oli edellistä alhaisempi, koliformien ja fekaalisten streptokokkien väheneminen ei ollut yhtä nopeaa.



Kuva 28. Bakteripitoisuuksien ja pH:n muutos ajan funktiona /24/.

Fig 28. Changes in the number of bacteria and pH as a function of time /24/.

1. *Clostridium perfringens*
2. Fekaaliset streptokokit
2. *Faecal streptococci*
3. Koliformit
3. *Coliforms*
4. pH

5.13 Bakteerien aiheuttama haitta lietteen hyödyntämiselle

Lietettä voitaisiin käyttää pelloilla, puistoissa, tienvarsilla tai muissa vastaavissa paikoissa. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon lietteen sisältämien patogeenisten mikrobien aiheuttamien riskien eliminointi. Ruotsin sosiaalihallituksen mukaan /51/ lietteiden varomattomasta hyväksikäytöstä voi mahdollisesti koitua seuraavia haittoja:

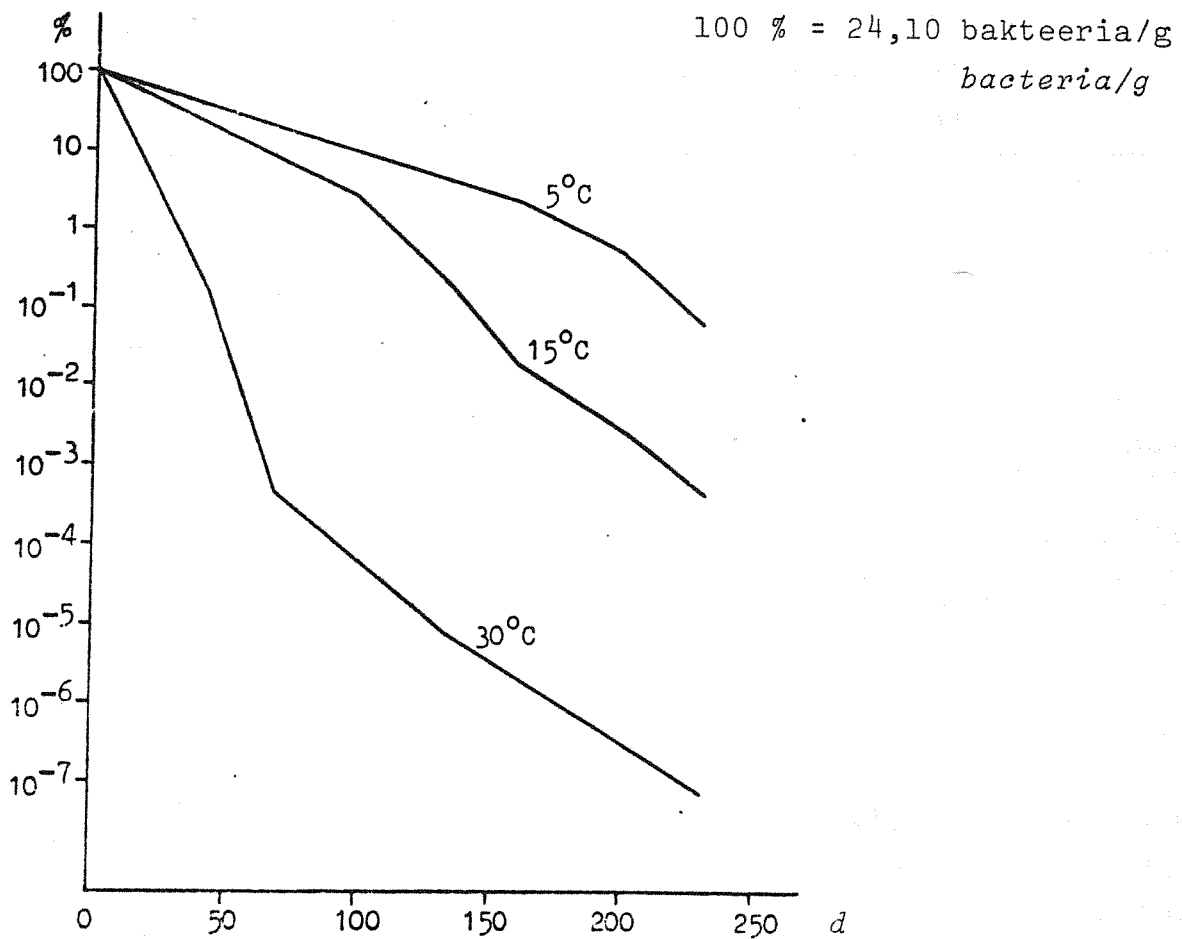
- ihmisen ja eläinten juomavesilähteiden likaantuminen
- karjan (ja tätä tietä ihmisen) infektoituminen laidunmaiden likaantuessa
- patogeenien leviäminen likaantuneiden tuotteiden (esim. vihannekset) välityksellä
- patogeenien leviäminen hyönteisten ja pikkueläinten välityksellä
- lietettä käsittelevien ihmisten infektoituminen.

5.131 Bakteerien säilyminen maassa

Hagenrud /16/ on tutkinut mädätetyn lietteen S. typhimurium-pitoisuuden alenemista maaperässä eri lämpötiloissa, kuva 29. Kokeita varten mädätetty liete oli infektoitu S. typhimuriumilla. Lämpötilan kohoaminen nopeutti S. typhimuriumin kuolemista. Lämpötilassa 5°C bakteeripitoisuus väheni tuhanteen osaan 230 d aikana. Kun lämpötila oli 30°C, laski bakteeripitoisuus samassa ajassa tekijällä 10^{-9} .

Latostenmaa et al. /29/ ovat tutkineet lietteen bakteerien säilymistä maaperässä. Biologista raakalietettä levitettiin maahan 55 t TS/ha. Salmonellojen, fekaalisten streptokokkien, koliformien ja Clostridium perfringensin vähenemistä maaperässä seurattiin. Maaperässä oli ennen lietteen lisäystä tutkittavista bakteereista ainoastaan C. perfringens. Kokeen perusteella lasketut bakteerien kuolemiskertoimet ovat taulukossa 9.

Bakteerien lukumäärä/g
Number of bacteria/g



Kuva 29. *S.typhimurium*-pitoisuuden aleneminen maaperässä eri lämpötiloissa /16/.

Fig. 29. S.typhimurium number in soil in different temperatures /16/.

C.pefringens säilyy maassa hyvin kauan. Tutkimuksen mukaan salmonellat häviävät nopeasti; tuhanteen osaan 22 vuorokauden kuluessa. Vähäisestä aineistosta johtuen ei kuolemisajoista voida olla kovin varmoja. Hagenrudin tutkimuksessa /16/ alkuperäinen salmonellapitoisuus oli 24×10^6 kpl/g näytettä. Hänen tutkimuksessaan salmonellojen väheneminen tuhanteen osaan kesti 230 d, kun lämpötila oli 5°C.

Taulukko 9. Bakterien kuolemiskertoimet talvella lietemultaseoksessa sekä vaadittavat ajat 90 %, 99 % ja 99,9 % bakterien vähenemiin /29/.

Table 9. The death rate of bacteria in winter mixed in top soil and the required time to achieve 90, 99 and 99,9 % removal in their number /29/.

Bakteeriryhmä <i>Group of bacteria</i>	Kuolemiskerroin <i>Death rate</i>	Vaadittu aika, jotta ao. % bakteereista kuolee <i>Required time to kill % of bacteria</i>		
		90 %	99 %	99,9 %
Koliformit	0,0458	22 d	46 d	67 d
Fekaaliset streptokokit	0,0151	67 d	134 d	200 d
<u>C.perfringens</u>	0,00253	1 a	2 a	3 a
Salmonellat	0,137	7 d	15 d	22 d

5.14 Tutkitut puhdistamot

Tutkimuksen kohteiksi valittiin 10 jätevedenpuhdistamo, jotka sijaitsivat suhteellisen lähellä laboratoriota. Puhdistamoiden lietteenstabilointimenetelmät jakautuivat seuraavasti: 3 mädättämöä, 4 lahottamoja ja 3 kalkkistabilointilaitosta. Jokaista stabilointimenetelmää kohti valittiin yksi puhdistamo, josta näytteitä haettiin kolme kertaa. Muista puhdistamoista haettiin näytteitä 1...2 kertaa. Jokaisesta stabilointimenetelmästä otettiin 6 näytettä eli näytteenottokertojen lukumäärä oli yhteensä 18.

5.141 Mädätys

Lietteen stabilointi Helsingin kaupungin puhdistamoilla tapahtuu enimmäkseen mädättämällä. Tutkimuksien kohteeksi valittiin kolme laitosta, joita koskevia tietoja on koottu taulukkoon 10. Kaikilla laitoksilla oli kaksi mädättämöä sarjassa.

Taulukko 10. Tietoja tutkituista, mädätystä käyttävistä puhdistamoista.

Table. 10. Information on investigated treatment plants using anaerobic digestion.

Puhdistamo Treatment plant	Puhd.men. Method of treatment	*) (m ³ /d)	Mädätys Anaerobic digestion			
			Viip. Detention (d)	T (°C)	pH	Kaasua (m ³ gas /m ³ liete m ³) (m ³ /m ³ of sludge)
A (Kyläsaari)	B	86 000	31	32-35	6,9-7,3	13,3
B (Tali)	BK	19 000	35	32-50	6,9-7,4	6,3
C (Viikki)	B	40 000	33	38-40	7,0-7,7	9,3

*) B = Biologinen puhdistus (aktiiviliete)

B = Biological treatment (activated sludge)

BK = Rinnakkaissaostus

BK = Simultaneous precipitation

5.142 Lahotus

Lietteen lahotuksen vaikutusta tutkittiin neljällä pienellä puhdistamolla, joita koskevia tietoja on esitetty taulukossa 11.

5.143 Kalkkistabilointi

Kalkkistabilointia käyttäviksi laitoksiksi on tässä tulkittu sellaiset puhdistamot, joilla kalkkia on lisätty jäteveden tai lietteen käsittelyn yhteydessä niin paljon, että lietteen pH on noussut yli 11. Ensisijaisena tavoitteena ei siis kaikissa tapauksissa ole ollut kalkkistabilointi, vaikka sitä vastaava vaikutus onkin saavutettu. Puhdistamolla H (Suomenoja, Espoo) kalkkia on käytetty kemiallisessa selkeytyksessä ja puhdistamolla I (Turun keskuspuhdistamo) kalkki on lisätty kunnostuskemikaalina ennen imusuodatusta. Puhdistamolla J (Karjaa) kalkkia käytetään jälkisaostus- ja stabilointikemikaalina ennen tiivistystä. Puhdistamoita koskevia tietoja on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 11. Tietoja tutkituista, lahotusta käyttävistä puhdistamoista.

Table 11. Information on investigated treatment plants using aerobic stabilization.

Puhdistamo	Puhd.men. *)	Q (m ³ /d)	Lahotuksen viipymä (d)
Treatment plant	Method of treatment *)		Detention in stabilization
D (Hyvinkäänkylä)	BK	950	14
E (Sipoo)	BK	1 200	14
F (Lammi)	BK	800	28
G (Kirkkonummi)	BK	2 500	14

*) BK = Rinnakkaissaostus

BK = Simultaneous precipitation

Taulukko 12. Tietoja laitoksista, joiden tulkittiin tuottavan kalkkistabiloitua lietettä.

Table. 12. Information on investigated treatment plants applying lime stabilization.

Puhdistamo	Puhd. *)	Q (m ³ /d)	Kalkin ann. (CaO)	Kalkitun lietteen viipymä ennen seuraavaa käsittelyä	pH	Kalkin käyttö
Treatment plant	Method *) of treatment		Lime addition (CaO)	Detention of lime stabilization before further processing		Lime used in
H (Suomenoja)	K	48 500	350 g/jätev. m ³	6 - 8 h	9,5-11	saost.kem. precipitation
I (Turku)	(K+)B	99 200	15 % TS:stä	5 min	12	kunn.kem. conditioning
J (Karjaa)	B+K	2 600	300 g/jätev. m ³	1 - 3 d	11	saost.kem. precipitation

*) K = Suora saostus

K = Direct precipitation

(K+) B = Biologinen puhdistus, joka täydennettiin esisaostukseksi tutkimuksen aikana

(K+) B = Biological treatment completed by pre-precipitation during the investigation

B+K = Jälkisaostus

B+K = Post precipitation

5.15 M ä ä r i t y s m e n e t e l m ä t

Lietenäytteet haettiin puhdistamolta tavallisesti maanantaina, koska salmonelloista johtuen näytteiden analysointiin kului 5 d. Näytteet otettiin raakalietteestä, stabiloidusta lietteestä ja kuivatusta lietteestä. Niistä tutkittiin salmonellat, koliformit ja C.perfringens. Lisäksi määritettiin lietteen kuiva-aine. Eristetyt salmonellat serotyyppitettiin Valtion eläinlääketieteellisellä laitoksella.

5.151 Näytteenotto ja homogenisointi

Näyte otettiin stabiloitavasta lietteestä (raakaliete) ja stabiloidusta lietteestä. Jos puhdistamolla oli lietteen kuivaus otettiin näyte myös stabiloidusta kuivatusta lietteestä.

Näytteenottimena käytettiin teräksistä desilitraa, joka näytteenottojen välillä pestiin vedellä. Eri puhdistamoista tapahtuneiden näytteenottojen välillä otin lisäksi steriloitiin palavalla etanolilla. Näytteenottimina käytettiin myös puhdistamojen omia, ko. lietteeseen käytettyjä näytteenottimia. Näytteen käsittelyn helpottamiseksi oli lasisessa näyteastiassa valmiina noin 1 l 0,7 % Teepol- 0,85 % NaCl-liuosta. Näyteastia sisältöineen oli steriloitu autoklaavissa (20 min, 121°C). Lietenäyte yhdistettiin useasta pienestä näytteestä. Lopullinen näytetilavuus oli noin 2 litraa.

Näytteiden kuljetus laboratorioon kesti 0,5...2 tuntia. Poikkeuksena oli puhdistamo I, josta näytteiden kuljetus kesti 4 tuntia. Näytteiden analysointi aloitettiin välittömästi.

5.152 Laimennussarja

Koliformi- ja C.perfringens-määritystä varten tehtiin laimennussarja. Laimennusliuoksena käytettiin 0,7 % Teepol- 0,85 % NaCl-liuosta (sterilointi autoklaavissa 20 min, 121°C). Ensimmäisessä laimennuksessa homogenisoitua näytettä kaadettiin steriloituun mittalasiin 100 ml ja tämä lisättiin 900 ml:an laimennusliuosta. Tästä eteenpäin lai-

mennettiin pipetoimalla edellisestä laimennuksesta 10 ml 90 ml:aan laimennusliuosta. Suurin laimennus oli 10^{-8} .

5.153 Koliformit

Koliformit ovat gram-negatiivisia, itiöttömiä sauvoja, jotka muodostavat happoa ja kaasua laktoosista 48 tunnissa lämpötilassa 37°C . Koliformien bakteerien ryhmä käsittää neljä pääalajia E.coli I, E.coli II, E.freundii I, E.freundii II, Klebsiella aerogenes I, K.aerogenes II ja Enterobacter cloacae. Ryhmän tyyppilajina on E.coli. E.coli I ja E.coli II ovat varmoja osoituksia fekaalisesta saastutuksesta. Muita lajeja voi joutua veteen mm. maaperästä huuhtoutumalla /36/.

Koliformit määritettiin kalvosuodatusmenetelmällä. Suodatetun laimennuksen määrä oli 10 ml ja suodattimina käytettiin Millipore HAWG 037 suodattimia. Suodatusten välillä laitteisto steriloitiin polttamalla siinä etanolia. Selektiivisenä kasvualustana käytettiin FC-alustaa, jonka koostumus oli seuraava:

Tryptoosi (Difco)	10	g
Proteoosipeptoni N:o 3 (Difco)	5	g
Hiivaekstrakti (Difco)	3	g
NaCl	5	g
Laktoosi (BDH)	12,5	g
Sappisuola N:o 3 (Difco)	1,5	g
Water Blue (Merck)	0,25	g
Agar (Difco)	13	g
Tislattua vettä	1 000	ml
Resolihappoliuos	10	ml
- 1 g resolihappoa 100 ml:ssa		
0,2 M NaOH-liuosta		

Alustaa tehtäessä vesi ja resolihappo keitettiin. Tähän lisättiin muut aineet ja seos kuumennettiin kiehuvaaksi. Koliformeja inkuboitiin 24 ± 2 h ja lämpötila oli $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Koliformeina pidettiin kaikkia kalvolla kasvaneita sinisiä pesäkkeitä.

5.154 Clostridium perfringens

C.perfringens on gram-positiivinen, anaerobinen, itiöllinen, peritrikkisillä flagelloilla liikkuva sauvamainen bakteeri, joka esiintyy yleisesti luonnossa. Se kykenee tuottamaan useita eksotoksiineja. C.perfringens on mesofiili, lämpötilaoptimi on alueella 37...45°C, lämpötilaminimi on 20°C. 5 %-NaCl-liuos riittää inhiboimaan bakteerien kasvun. C.perfringens pelkistää sulfiittia sulfidiksi /34/.

C.perfringens määritettiin kalvosuodatusmenetelmällä samoin kuin koliformit. Selektiivisenä kasvualustana käytettiin TSN-alustaa (Merck). Anaerobisissa olosuhteissa C.perfringens pelkistää kasvualustan sisältämän sulfiitin sulfidiksi, joka muodostaa ferro-ionin kanssa mustaa rautasulfidia. Petrimaljan anaerobiset olosuhteet saatiin aikaan Ott'n anaerobisilla renkailla (Merck). Maljoja inkuboitiin 18±2 h 46°C:ssa. C.perfringensiksi epäiltiin kaikkia vaaleita pesäkkeitä, joissa oli musta keskusta. Tar- kistusviljelyssä pesäkkeet siirrettiin lakmusmaitoon (Difco), ja inkuboitiin viikko 37±0,5°C. C.perfringensiksi tulkittiin kaikki lakmusmaidon juoksetaneet.

5.155 Salmonellat

Salmonellat ovat pieniä, gram-negatiivisia, tavallisesti peritrikkisin flagelloinliikkuvia, itiöttömiä sauvoja. Salmonellat viihtyvät neutraaleissa olosuhteissa. Ne kuolevat, jos pH on alle 4,5 tai yli 9,0. Lämpötilaminimi on esim. S.heidelbergilla 5,3°C ja lämpötilamaksimi on yleensä 45°C. Salmonellat eivät siedä korkeita suolaväkevyyksiä, 9 % NaCl-liuos on niille bakterisidinen /36/.

Salmonellat rikastusviljeltiin kaliumtetrationsaattiliemessä (Orion). Viljelyyn käytettiin muovisia kertakäyttöpulloja, jotka ennen käyttöä huuhdeltiin etanolilla. K-tetrationsaattiliemeen lisättiin Teepolia siten, että pitoisuus oli 0,7 %. Viljelypulloihin mitattiin 90 ml K-tetrationsaattilientä ja 10 ml lietenäytettä.

Jokaisesta näytteestä tehtiin viisi rinnakkaista rikastusviljelmää. Rikastusviljelmiä inkuboitiin 15 min 45°C :ssa ja tämän jälkeen 48 ± 2 h $43 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$:ssa.

Jatkoviljelyissä jokaisesta rikastusviljelmästä siirrostettiin suspensiota platinasilmukalla kolmelle sinialustalle (Orion) ja kolmelle vismuttisulfiittialustalle (Difco). Näitä inkuboitiin 22 ± 2 h lämpötilan ollessa $37 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Sinialustan käyttö perustuu enterobakteerien erilaiseen kykyyn fermentoida laktoosia ja sakkaroosia, mikä todetaan pH-indikaattorin, bromitymolisinin avulla. Salmonellat eivät fermentoi laktoosia eivätkä sakkaroosia, joten ne kasvavat alustalla sinisinä pesäkkeinä tai vaaleina pesäkkeinä, joilla on sininen ympäristö. Vismuttisulfiittialustalla salmonellojen aineenvaihduntatuotteet pelkistävät Bi (III)-ionin metalliseksi vismutiksi, jolloin salmonellat erottuvat metallinkiiltoisina pesäkkeinä.

Tarkastusviljely suoritettiin urea- ja TSI-putkissa (Orion). Jokaisesta jatkoviljelymaljasta siirrostettiin erilaisista, salmonelloiksi epäiltävistä pesäkkeistä platinalangalla pintaviljelmä ureaputkeen sekä pinta- ja pistoviljelmä TSI-putkeen. Ureaputkia inkuboitiin 1...4 d ja TSI-putkia 22 ± 2 h $37 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$:ssa. Salmonellat eivät hajoita ureaa, jolloin putki säilyy muuttumattomana eli keltaisena. TSI-putki sisältää kolmea sokeria: laktoosia, sakkaroosia ja glukoosia suhteessa 10 : 10 : 1. Salmonellat käyttävät ainoastaan glukoosia ja aiheuttavat inkuboinnin alussa happaman reaktion koko elatusaineeseen. Pinnalla aerobisissa olosuhteissa vilkkaasti kasvavat salmonellat kuluttavat nopeasti pienen glukoosimäärän loppuun ja valkuaisaineiden hajoamisen jatkuessa reaktio pintaosassa muuttuu emäksiseksi. Pohjassa anaerobisissa olosuhteissa kasvu on hidasta ja hapen reaktio säilyy putken pohjalla. Rikkivedyn muodostuminen ilmenee mustana rautasulfidisaostumana happaman ja emäksisen vyöhykkeen välillä. Tyypillinen salmonellojen reaktio TSI-putkessa on siis punainen pintaosa, musta keskiosa ja keltainen, kaasun rikkoma pohja.

5.16 Tulosten laskeminen

Lietteen kuiva-aine laskettiin tilavuusprosentteina (näytteen kuivapaino jaettiin näytetilavuudella). Bakteerinäytteestä määritetty kuiva-aine sisälsi myös fysiologisesta suolaliuoksesta aiheutuneen kuiva-aineen. Bakteerinäytteen kuiva-aine, joka aiheutui pelkästään lietteen kuiva-aineesta, laskettiin seuraavasti:

$$TS_B = TS_T - 0,85 \frac{V_S}{V_T}, \quad (2)$$

missä

TS_B = bakteerinäytteeseen lietteestä aiheutunut kuiva-aine
t %

TS_T = bakteerinäytteen kuiva-aine, t %

V_S = fysiologisen suolaliuoksen tilavuus, ml

V_T = bakteerinäytteen kokonaistilavuus, ml

Koliformien ja C.perfringensin pitoisuus laskettiin seuraavasti:

$$A = \frac{B \times 10^{-1-b}}{TS_B}, \quad (3)$$

missä

A = bakteeripitoisuus, kpl/g lietteen TS

B = bakteeripesäkkeiden lukumäärä kalvolla, kpl

b = laimennus

TS_B = bakteerinäytteeseen lietteestä aiheutunut kuiva-aine, t %

Bakteerisuspensioista otettujen rinnakkaisten näytteiden solumäärien vaihtelu seuraa tyydyttävästi Poissonin jakautumaa /37/. Koliformien ja C.perfringensin pitoisuuksille on laskettu Poissonin jakautuman 95 %:n virherajat käyttäen empiiristä vakiota 2 : virheraja on $\pm 2 \sqrt{n}$, missä n = kalvolta laskettujen pesäkkeiden lukumäärä.

Salmonellojen esiintymiselle lietteessä laskettiin karkea todennäköisyys positiivisten rikastusviljelmien perusteella:

$$S = \frac{C}{5 \times V_N} \cdot \frac{1}{0,01 \times TS_B} \quad (4)$$

missä

- S = salmonellojen todennäköisyys lietteessä, kpl/g lietteen TS
 C = positiiviset rikastusviljelmät, kpl
 V_N = rikastusviljelmien näytetilavuus, ml; tässä 10 ml
 TS_B = bakteerinäytteeseen lietteestä aiheutunut kuiva-aine, t %

Edellä olevilla menetelmillä lasketut tulokset ovat liitteissä 5, 6 ja 7. Yhteen veto tuloksista on esitetty taulukossa 13.

5.17 Tulosten tarkastelu

5.171 Määtys

Salmonelloja todettiin viidestä raakalietenäytteestä. Vain yhden raakalietenäytteen ei havaittu sisältävän salmonelloja. Jos raakaliete oli sisältänyt salmonelloja, havaittiin niitä myös määtetyssä ja/tai kuivatusta lietteestä. Puolikvantitatiivisesti laskettu salmonellapitoisuus kuitenkin pieneni lietteen käsittelyn edistyessä.

Raakalietteiden koliformipitoisuus vaihteli välillä $3,7 \times 10^6 \dots 93 \times 10^6$ kpl/TS. Määtämässä lietteen koliformipitoisuus pieneni tekijällä $10^{-3} \dots 10^{-4}$ raakalietteen pitoisuudesta. Määtetyn lietteen kuivauksessa pitoisuus nousi hiukan; poikkeuksena määtämö C:n ensimmäinen näytteenottokerta. Kuivatun lietteen koliformipitoisuus oli $10^{-2} \dots 10^{-4}$ raakalietteen pitoisuudesta. Koliformipitoisuuden kasvu kuivauksessa johtunee bakteerien pidättäytymisestä hiukkasten pinnalle. Määtämöille tyypillinen käyrä lietteen koliformipitoisuudesta kuiva-aineen funktiona on kuvassa 30.

Raakalietteiden C.perfringens-pitoisuus oli yleensä välillä $1,7 \times 10^6 \dots 12 \times 10^6$ kpl/ gTS. Määtetyssä tai kuivatussa lietteessä C.perfringens-pitoisuus pieneni tekijällä $5 \times 10^{-2} \dots 5 \times 10^{-4}$ raakalietteen pitoisuudesta. Poikkeuksena oli määtämö B, jonka raakalietteessä oli erittäin vähän C.perfringensiä. Määtämö B:n kuivatun lavalietteen C.perfringens-pitoisuus oli sen sijaan samaa suuruusluokkaa kuin muiden määtämöiden.

Taulukko 13. Lietteen bakteeripitoisuuksia kymmenellä suomalaisella jäteveden puhdistamolla.

Table 13. Contents of bacteria in sewage sludge at ten Finnish treatment plants.

Liete Sludge	Koliformit (10^3 /gTS) Coliforms	C.perfringens (10^3 /gTS)	Pos.salm./ tutkitut näytt. Pos.salm./ samples
Raaka Raw	4 900 - 93 000	0,05 - 12 000	16/30
Mädätetty Anaerobically stab.	0,3 - 42	30 - 32	6/30
Mäd. + kuivattu Anaer.stab. + dewatered	2,6 - 40	7 - 13	12/50
Raaka Raw	2,1 - 4 600	0,15 - 480	1/30
Lahotettu Aerobically Stab.	1,4 - 2 100	0,03 - 780	11/30
Lah. + kuivattu*) Aer.stab.*† dewatered	630 - 1 400	0,07 - 320	10/15
Raaka Raw	510 - 11 000	0,04 - 2 100	26/30
Kalkkistabiloitu Lime stabilized	0,03 - 110	0,02 - 0,28	0/30
Kalkkist. + kui- vattu Lime stab + dewatered	0,16 - 75	0,02 - 0,75	0/30

*) Tuloksia vain yhdeltä puhdistamolta

*) Results from one treatment plant only

5.172 Lahotus

Lahottamoita on tarkasteltava laitoskohtaisesti, koska lahottamo G poikkesi muista tutkituista lahottamoista.

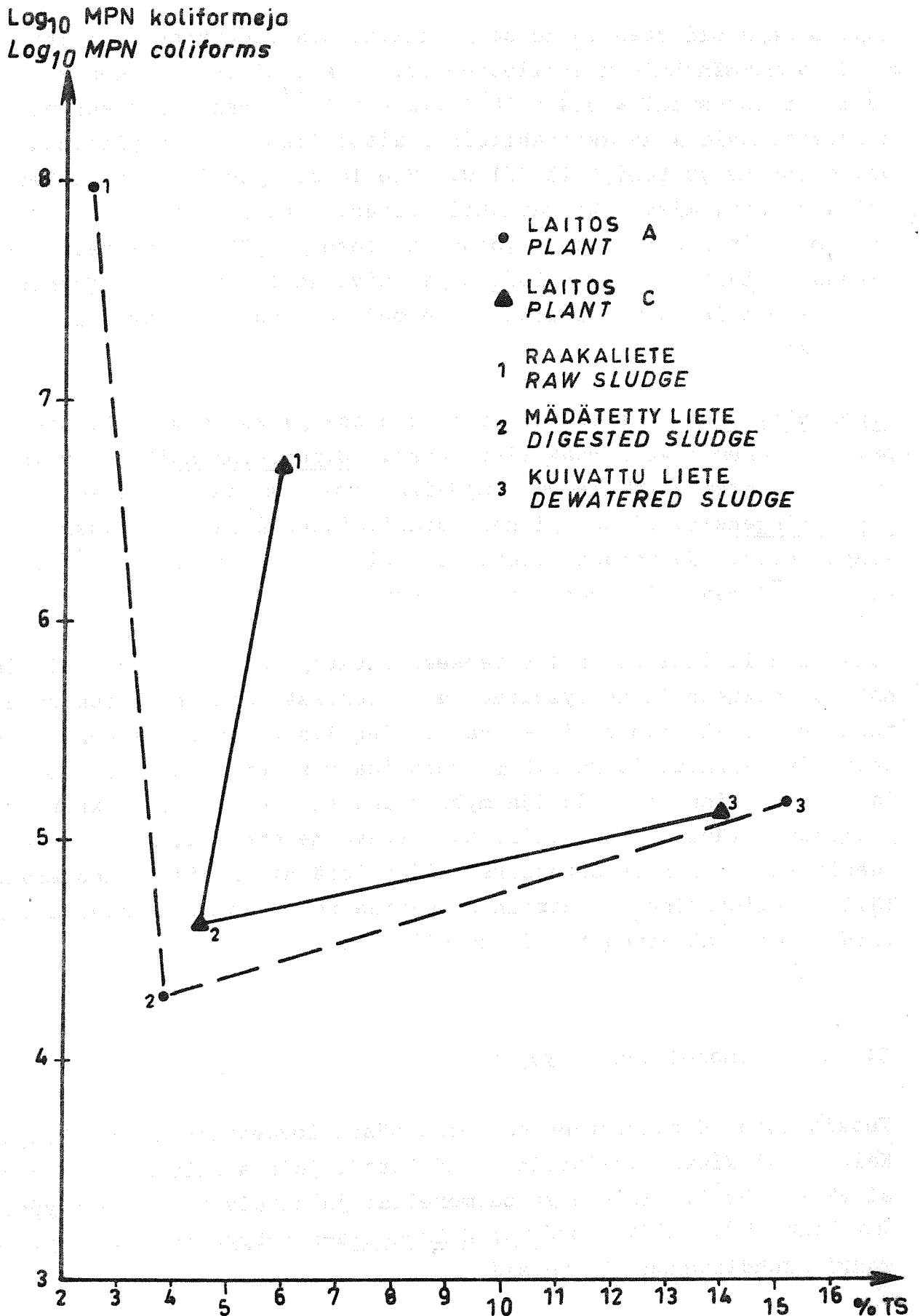
Lahottamoiden D ja E raakalietteestä ja lahotetusta lietteestä ei havaittu ollenkaan salmonelloja. Näiden puhdistamoiden lietteiden C.perfringens-pitoisuudetkin olivat pienet, vain yhdestä lietteestä löytyi laskettava määrä. Lahottamon D lahotetun lietteen koliformipitoisuus oli 3/100 raakalietteen pitoisuudesta. Vastaava luku lahottamolle E oli 1/5.

Lahottamosta F löydettiin salmonelloja sekä raakalietteestä että lahotetusta lietteestä. Lahotetun lietteen koliformi ja C.perfringens-pitoisuudet olivat noin puolet raakalietteen vastaavista pitoisuuksista.

Puhdistamo G käyttäytyi poikkeavasti. Puhdistamolta otettiin näytteitä kolme kertaa. Raakalietteestä ei havaittu kertaakaan salmonelloja, mutta sen sijaan niitä oli aina lahotetussa ja kuivatussa lietteessä. Raakalietteessä on todennäköisesti ollut salmonelloja niin vähän että käytetyllä menetelmällä niitä ei ole saatu esille. Tällöin rikastusviljelyssä olisi täytynyt käyttää suurempia näytemääriä. Se, että lahottamon G raakalietteestä ei havaittu salmonelloja voi johtua myös tulevan veden epätasaisesta salmonellapitoisuudesta, sillä puhdistamolle tuodaan sako- ja umpikavolietettä, jonka alkuperää tai määrää ei mitenkään kontrolloida. Kuivatun lietteen koliformi- ja C.perfringens-pitoisuus oli kaikilla näytteenottokerroilla yhtä suuri tai suurempi kuin raakalietteen vastaava pitoisuus. Tämä voi johtua bakteerien pidättäytymisestä hiukkasiin lietteen kuivauksessa.

5.173 Kalkkistabilointi

Kaikista raakalietenäytteistä löytyi salmonelloja, mutta yhdestäkään stabiloidusta tai kuivatusta näytteestä ei niitä havaittu.



Kuva 30. Lietteen koliformipitoisuus kuiva-aineen funktiona mädätystä käytävillä laitoksilla

Fig. 30. Coliform concentration as a function of total solids concentration at treatment plants applying anaerobic digestion

Koliformeja oli stabiloidussa ja kuivatussa lietteessä merkittävästi vähemmän kuin raakalietteessä. Stabiloidun lietteen koliformipitoisuus oli $< 6,9 \times 10^{-6} \dots 2,4 \times 10^{-3}$. raakalietteen pitoisuudesta, paitsi kalkkistabilointilaitos I:ssä, jossa pitoisuus oli pienentynyt tekijällä 3/100. Siellä oli juuri alettu kokeilla esisaostusta, mikä ehkä vaikutti asiaan. Stabilointilaitos H on kemiallinen puhdistamo, jossa lietteen pH jää joskus vain yhdeksään. Laitoksen stabiloidun ja kuivatun lietteen koliformipitoisuus olikin huomattavasti korkeampi kuin muissa tutkituissa laitoksissa.

C.perfringens-pitoisuus oli stabiloidussa ja kuivatussa lietteessä paljon pienempi kuin raakalietteessä. C.perfringensiä oli vain joka toisessa raakalietenäytteessä riittävästi laskentaa varten. Lietteessä C.perfringens-pitoisuus pieneni stabiloitaessa havaittavuusrajan alapuolelle. Kuivatussa lietteessä pitoisuus oli $3,8 \times 10^{-5} \dots 1,3 \times 10^{-3}$ raakalietteen pitoisuudesta.

Kalkkistabiloinnissa on lietteeseen lisätty kalkkia, joka voi vielä haitata bakteereja analysoitaessa. Pienissä laimennuksissa suodatuskalvolle jää mahdollisten bakteerien lisäksi myös paljon lietettä ja kalkkia, jotka voivat inhiboida bakteerien kasvua. Liette ja kalkki voinevat inhiboida myös salmonellojen kasvua rikastusviljelmässä. Tämän vuoksi olisi tutkittava menetelmiä, joilla bakteerit saataisiin irroitetuiksi kiinteistä hiukkasista nestefaasiin. Tällöin kiintoaine voitaisiin suodattaa pois (esim. piimaalla), jolloin se ei enää aiheuttaisi inhibiitiota.

5.174 Salmonella-serotyypit

Tutkituista 10 puhdistamosta seitsemästä löydettiin salmonelloja. Kaiken kaikkiaan tutkittiin 54 näytettä, joista salmonelloja sisällysi 27 eli 50 %. Eristetyt salmonellat jakautuivat 14 serotyyppiin (taulukko 14). Liitteessä 8 on Salmonella-serotyyppien esiintyminen kunkin puhdistamon lietteissä.

Vuonna 1975 Suomessa ilmeni 1625 Salmonellan aiheuttamaa sairastumista (arviolta vain 1/5 tulee ilmi), näistä 387 kpl eli 24 % oli

ulkomaista alkuperää. Kuusi yleisintä serotyyppiä aiheuttaa 82 % sairastapauksista, loput sairastapauksista olivat 65 serotyypin aiheuttamia. Taulukossa 15 on 14 serotyypin aiheuttamat sairastapaukset ja ulkomainen alkuperä.

Joka toisesta salmonellapitoisesta näytteestä eristettiin S.infantis ja/tai S.typhimurium. Kolmanneksi yleisin oli S.heidelberg. Nämä olivat myös kuuden eniten sairauksia aiheuttaneen Salmonella-serotyypin joukossa. Näiden kuuden joukossa oli myös S.enteritidis, mutta sitä ei eristetty lietenäytteistä kuin kerran. Kiinnostavaa on pienestä puhdistamosta, lahottamosta F, eristetyt Salmonella-serotyypit, joiden esiintyminen Suomessa on täysin ulkomaista alkuperää.

Serotyypitettäväksi lähetettiin 337 kpl "salmonelloja". Näistä 10 % (38 kpl) ei ollut salmonelloja, taulukko 14. Ei-salmonelloista oli 2/3 P.aeruginosa, joka jatkoviljelyssä oli kasvanut ainoastaan vismuttisulfiittialustalla. Muut ei-salmonellat olivat Klebsiella, Proteus, E.coli sekä kolme tunnistamatonta bakteeria. Ei-salmonelloista oli jatkoviljelyssä kasvanut 84 % vismuttisulfiittialustalla.

5.18 J o h t o p ä ä t ö k s e t

Tutkimuksessa todettiin kalkkistabiloinnin alentavan lietteen bakteeripitoisuuksia ylivoimaisesti muita tehokkaammin. Salmonelloja ei löytynyt yhdestäkään tutkitusta kalkkistabiloidusta lietteestä ja sekä koliformien että C.perfringensin pitoisuudet vähenivät merkittävästi. Kalkkistabiloinnin teho oli odotettua parempi.

Mädätyksellä on selvästi vähemmän vaikutusta lietteen bakteereihin kuin kalkkistabiloinnilla. Mädätetystä lietteestä löytyi melkein aina salmonelloja. Mädätys näyttää käytännössä toimivan huonompina bakteerien tuhoajana kuin kirjallisuudessa esitetään.

Lahotuksen vaikutus vaihtelee puhdistamokohtaisesti. Sen teho bakteerien vähentäjänä on parhaimmillaankin varsin vähäinen muihin

Taulukko 14. Tutkittujen lietteiden salmonella-serotyypit.
 Table. 14. Salmonella serotypes of investigated sludges.

<u>Salmonella</u>	Positiivisia lietenäytteitä kpl <i>Positive samples</i>	Osuus salmonella- pitoisista liete- näytteistä (%) <i>Proportion of all salmonella samples</i>
<u>S.infantis</u>	14	52
<u>S.typhimurium</u>	14	52
<u>S.heidelberg</u>	7	26
<u>S.paratyphi B</u>	4	15
<u>S.agona</u>	3	11
<u>S.coleypark</u>	1	4
<u>S.enteritidis</u>	1	4
<u>S.kottbus</u>	1	4
<u>S.meleagridis</u>	1	4
<u>S.bredeney</u>	1	4
<u>S.anatum</u>	1	4
<u>S.bovis-morbificans</u>	1	4
<u>S.kapemba</u>	1	4
<u>S.azteca</u>	1	4
	Σ 27	

stabilointimenetelmiin verrattuna eikä sen hygienisointivaikutukseen voida lainkaan luottaa. Käytännössä saavutettu tulos oli selvästi huonompi kuin kirjallisuustietojen perusteella oli odotettavissa.

Salmonellojen serotypeissa esiintyvät yleisimmät salmonellat. Lisäksi löydettiin Lammin puhdistamon lietteestä ulkomaista alkuperää olevia salmonelloja.

5.2 LOISTEN MUNAT

Loisten munien lukumäärää lietteessä ei ole tutkittu kovin paljon. Tiedetään, että munat konsentroituvat muiden lika-ainehiukkasten kanssa lietteeseen. Munat ovat peräisin ihmistoiminnasta, taajama-alueiden hulevesistä ja elintarviketeollisuudesta.

Taulukko 15. Eräiden Salmonella-serotyypien aiheuttamat sairastumistapaukset Suomessa v. 1975 ja alkuperä /21/.

Table 15. *Infections of certain Salmonella serotypes in Finland in 1975 and their origins /21/.*

<u>Salmonella</u>	Sairastapaukset kpl <i>No. of infections</i>	Ulkomainen alkuperä <i>Foreign origin</i>	
		kpl <i>No</i>	Paikka <i>Place</i>
<u>S.typhimurim</u>	883	65	eniten Espanjasta <i>mostly Spain</i>
<u>S.enteritidis</u>	128	84	Mustanmeren alue, Espanja <i>the area of the Black Sea, Spain</i>
<u>S.infantis</u>	128	17	7 Suezilta 7 from Suez
<u>S.heidelberg</u>	109	14	
<u>S.paratyphi B</u>	47	3	
<u>S.montevideo</u>	36		
<u>S.kottbus</u>	13	6	Neuvostoliitto <i>USSR</i>
<u>S.agona</u>	29	19	
<u>S.meleagridis</u>	1	1	Leningrad <i>Leningrad</i>
<u>S.bredeney</u>	3	3	2 Espanjasta, 1 Italiasta <i>2 from Spain, 1 from Italy</i>
<u>S.coleypark</u>	1	1	Kypros <i>Cyprus</i>
<u>S.anatum</u>	12	8	Itä-Eurooppa <i>Eastern Europe</i>
<u>S.bovis-morbificans</u>	4	2	
<u>S.kapemba</u>	0		yleensä alle 5 tapausta vuodessa Itä-Euroopasta <i>usually less than 5 cases from Eastern Europe</i>
<u>S.azteca</u>	0		ei ole esiintynyt Suomessa <i>has not been discovered in Finland</i>

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli saada selville:

- millaisia määriä munia jätevesilietteessä voi esiintyä
- kuinka lietteen stabilointi vaikuttaa munien määrään
- minkä loisten munia tavataan lietteissä.

Loisten munien määrittäminen lietteestä on varsin mutkikas operaatio, joka vaatii ehdottomasti siihen erikoistuneen laboratorion ja määrittämyksen suorittajat. Hankaluutena on vakiintuneen analyysimenetelmän puuttumisen lisäksi lietteen heterogeeninen laatu, joka vaikeuttaa määrittäystä /23/, tulos on parhaassakin tapauksessa vain suuntaa antava, sillä tulos ilmoitetaan todennäköisenä arvona ja menetelmä antaa munien lukumäärän mutta ei varmaa tietoa siitä, ovatko munat vielä elinkelpoisia.

5.21 L o i s e t

Varsinaisena tutkimuskohteena tässä tutkimuksessa oli ihmisen lapamato Diphyllobothrium, joka on tärkein ihmisloinen Suomessa. Mikäli mikroskopoitaessa havaittiin muitakin loisia, ne laskettiin. Liitteessä 10 on esitetty tietoja loisten isännistä ja kehityksestä.

Loisten munien määrittäykset tehtiin Suomen tiedeseuran parasitologian laitoksella.

5.22 T u t k i t u t p u h d i s t a m o t

Tutkitut puhdistamot olivat samat kuin bakteriologisessa tutkimuksessa käytetyt (ks. luku 5.14). Kultakin puhdistamolta otettiin näyte jokaisesta lietetyypistä ja toimitettiin parasitologian laitokselle Turkuun analysoitavaksi. Määrittämyksen työläyden vuoksi tutkittiin vain yhdet lietenäytteet Karjaan ja Kirkkonummen puhdistamoita lukuunottamatta, joista tutkittiin kahdet lietenäytteet.

5.23 M ä ä r i t y s m e n e t e l m ä t

Näytteiden siivilöinti

Tunnettu määrä lietettä siivilöitiin kahden eri karkeusastetta olevan seulan läpi (Koeseula, Oy Santasalo-Sohlberg). 1,41 mm:n seula pidätti suurimmat hiukkaset, jotka muuten olisivat aiheuttaneet seulan 0,177 mm:n tukkeutumisen. Hienon seulan läpäissyt liete otettiin talteen.

Siivilöinti suoritettiin vedellä, joka antoi siivilöidylle lieteelle alhaisemman konsentraation kuin alkuperäiselle. Ero korjattiin seisottamalla lietettä vuorokauden, jonka jälkeen ylimääräinen vesi imettiin pois. Munat olivat tänä aikana ehtineet laskeutua koska niiden ominaispaino on suurempi kuin veden. Lietettä säilytettiin +4°C:n lämpötilassa.

Munastandardi

Standardiin käytetyt munat otettiin Diphyllbothrium latumin kypsiä jaokkeista ja ne värjättiin liuoksessa, joka sisälsi 20 % eosiinia ja 2 % natriumhydroksidia. Värjättyt munat suspendoitiin liuokseen, joka sisälsi formaliinia (4 %), natriumdodesylisulfaattia (0,4 %), glyserolia (50 ml/l) ja hivenen eosiinia. Niitä säilytettiin +4°C:n lämpötilassa.

Standardin munakonsentraatiota laskettaessa liuosta mitattiin 1 ml pipetillä petrimaljaan, jonka pohjaan oli liimattu ruudukko. Laskenta suoritettiin preparaatiomikroskoopin avulla.

Munien rikastaminen

Jotta säilytyksen aikana syntyneet kokkareet saataisiin hajoamaan lisättiin tunnettuun määrään lietettä hiven pesuainetta ja näytteitä ravistettiin ravistuskoneessa 10 minuuttia. Näytteisiin lisättiin tunnettu määrä värjättyjä Diphyllbothrium-munia. Näytteitä sentrifugoitiin viisi minuuttia nopeudella 1000 r/min, jonka jälkeen vesi imettiin pois vesisuihkupumpun avulla.

Jäännös kyllästettiin magnesiumsulfaatilla siten, että jauhemaista magnesiumsulfaattia lisättiin ja seosta lämmitettiin vesihauteessa 50°C:een. Sentrifugiputket täytettiin valmiiksi kyllästetyllä magnesiumsulfaattiliuoksella. Kellutus suoritettiin siten, että näytteitä sentrifugoitiin 20 minuuttia nopeudella 1000 r/min. Magnesiumsulfaattiliuos imettiin pois ja otettiin talteen.

Liuos laimennettiin vedellä suhteessa 1 : 1 ja sentrifugoitiin 10 minuuttia nopeudella 1000 r/min. Tällöin munat vajosivat pohjaan, mutta osa jäljellä olevista vieraista hiukkasista kohosi pinnalle. Koko liuos pohjalla olevaa jäännöstä lukuunottamatta imettiin pois vesisuihkupumpun avulla. Menettely toistettiin ja jäännöksen tilavuus merkittiin muistiin.

Mikroskopiointi

Jäännöksestä otettiin 0,1 ml:n pipetillä 0,5 ml objektilasille ja munat laskettiin ja määritettiin valomikroskoopin avulla. Menettely toistettiin 10 kertaa.

5.24 Tulosten käsittely

Diphyllbothrium-suvun munien tuottoprosentti käsittelyn jälkeen laskettiin värjättyjen munien perusteella. Löydettyjen värjäämättömien Diphyllbothrium-munien määrä korjattiin kertomalla tuottoprosentilla.

Vertaamalla eri näytteistä löydettyjen Diphyllbothrium-munien määrää teoreettisen normaalijakauman arvoihin todettiin, että Diphyllbothrium-munien jakauma ei merkittävästi poikkea normaalijakautumasta.

Suurista vaihteluista johtuen on tulokset ilmoitettu keskiarvojen ja keskivirheiden avulla. Keskiarvon keskivirhe on laskettu kaavalla:

$$\frac{S}{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (5)$$

missä $\frac{S}{\bar{x}}$ = keskiarvon keskivirhe (keskiarvon keskihajonta)
 S = tulosten keskihajonta
 n = tulosten lukumäärä

5.25 T u l o k s e t

Tulokset ilmoitettiin munien lukumääränä lietelitrassa. Ne on muutettu kuiva-ainepitoisuuden perusteella munien lukumääräksi lietteen kuiva-ainegrammaa kohti, jotta luvut olisivat keskenään vertailukelpoisia. Näytekohtaiset tulokset on esitetty liitteessä 11. Yhteenveto tuloksista on taulukossa 16.

Liitteestä 12 selviävät näytteistä havaitut muiden loisten munat. Nematodi-ryhmän toukkia ei pystytty määrittämään. Koska niitä kuitenkin esiintyy suuret määrät kaikissa lietteissä on ilmeistä, että ne ainakin valtaosaltaan kuuluvat johonkin ryhmään joka elää lietteessä.

Tuloksien tarkastelussa on kiinnitettävä huomiota varsin suuriin virherajoihin, jotka osoittavat, ettei käytetyillä menetelmillä päästä suureen tarkkuuteen. Toisaalta tulokset osoittavat selvästi ettei kovin suureen tarkkuuteen ole edes tarkoituksenmukaista päästä. Voidaan nimittäin todeta, että munat kestävät stabilointia hyvin ja että niiden määrä lietteessä on aina varsin suuri.

Tämän tutkimuksen yhteydessä ei ollut ajallisia eikä taloudellisia mahdollisuuksia selvittää, kuinka suuri osa havaituista munista oli elinkelpoisia. On varsin todennäköistä, että olosuhteiden muutokset ovat tehneet osan munista elinkelvottomiksi, vaikka niiden fyysinen olemus onkin säilynyt ennallaan.

5.26 Tutkimusmenetelmien arvioinn- tia

Siivilöinti

Suurimmat munat (Fasciola hepatica) ovat soikeita ja kooltaan noin 0,145 mm x 0,075 mm ja pienimmät pyöreitä ja halkaisijaltaan noin 0,020 mm (Taenia sp.). Diphyllbothrium-munat ovat soikeita ja niiden mitat ovat noin 0,080 mm x 0,045 mm. Voidaan olettaa, että kaikki munat ovat kulkeutuneet hienon seulan läpi. Puhtainta lietettä ja siten myös seuraavissa vaiheissa pienempi hukkaprosentti olisi saatu, jos olisi käytetty 0,177 mm:n seulan jälkeen halkaisijaltaan erittäin hienoa seulaa ja otettu talteen ainoastaan tähän jäänyt liete. Kun kuitenkin hienoin käytettävissä ollut seula oli halkaisijaltaan 0,037 mm otaksuttiin, että pienimmät munat olisivat läpäisseet seulan.

Munastandardi

Jotta yllä mainittu menetelmä antaisi tuottoprosentin, joka koskee myöskin värjäämättömiä munia, täytyy kaksi ehtoa olla täytettynä. Ensiksikin munien fysikaaliset ominaisuudet eivät saa muuttua värjäyksessä, ja toiseksi on tarkasti voitava määrittää standardin munakonsentraatio. Kiinnostavin fysikaalinen ominaisuus on lähinnä tiheys. Koska munat näytteessä ovat alkiokehityksensä eri vaiheissa ja tiheys suurella todennäköisyydellä vaihtelee, ei värjättyjen munien tiheyttä yritetty määrittää. Mahdollisesti esiintyvän eron katsottiin pysyttävätyvän näytteiden luonnollisten vaihteluiden aiheuttamien rajojen sisällä.

Standardimunien tarkkaa lukumäärää on vaikea pitää samana, sillä pienten hiukkasten lukumäärä tilavuusyksikköä kohti laskee imettäessä liuosta pienen imuaukon kautta reuna- ja virtausvaikutuksesta johtuen. Tätä systemaattista virhettä pienennettiin sattuman tasoiseksi virheeksi käyttämällä samaa pipettiä sekä standardisoinnissa että lietenäytteen munien mittaamisessa. Koska standardi munakonsentraatio muuttuu aina pipettiä käytettäessä, määritettiin munakonsentraatio uudelleen kymmenen imun jälkeen.

Taulukko 16. Yhteenvedo eri stabilointimenetelmiä käyttävien puhdistamoiden lietteissä todetuista Diphyllbothrium sp. munien lukumääristä.

Table. 16. Summary of observed numbers of Diphyllbothrium sp. eggs in sludges from treatment plants applying various stabilization methods.

Liete Sludge	Munien lukumäärä kpl/gTS (keskiarvo ja keskivirhe) <u>Number of eggs per gTS (mean and standard error)</u>	
	Pienin Smallest	Suurin Biggest
Raaka Raw	245 ± 22	804 ± 262
Mädätetty Anaerobically digested	320 ± 130	467 ± 70
Mädätetty + kuivattu Anaer.dig. + dewatered	260 ± 37	583 ± 80
Raaka Raw	568 ± 63	2 570 ± 885
Lahotettu Aerobically stabilized	769 ± 55	2 290 ± 770
Lahotettu + kuivattu Aer.stab. + Dewatered	415 ± 27	1 000 ± 225
Raaka Raw	57 ± 27	586 ± 131
Kalkkistabiloitu Lime stabilized	118 ± 21	288 ± 288
Kalkkist. + kuivattu Lime stab. dewatered	38 ± 23	233 ± 42

Munien rikastaminen

Koska useimpien meillä esiintyvien loismatojen munien ominaispainot ovat pienemmät kuin kyllästetyn magnesiumsulfaatin (1,275 - 1,285) nämä kulkeutuvat kyllästetyssä magnesiumsulfaattiliuoksessa pintaan. Samanaikaisesti kaikki ominaispainoltaan liuosta suuremmat hiukkas-
set laskeutuvat sentrifugin pohjalle.

Mikroskopointi

Munien varma määrittely vaatii kyseisen ryhmän asiantuntijaa. Samaan sukuun kuuluvien eri lajien erottaminen toisistaan munien perusteella on usein mahdotonta. Siksi ei voida sanoa kuuluvatko Diphyllbothrium-suvun munat lajiin D.latum vai D.dedriticum, joskin suvusta tässä tapauksessa voidaan olla täysin varmoja. Usein on myös vaikea erottaa toisistaan saman ryhmän eri suvut. Tästä johtuen on täysin mahdollista, että muiden kuin Diphyllbothrium-suvun munien kohdalla esiintyy virhemääriä.

Tilastolliset menetelmät

Laskettaessa ainoastaan 10 näytettä á 0,05 ml sattuma on vielä huomattava tekijä. Muiden kuin Diphyllbothrium-suvun munien lukumäärä on niin pieni, että ne eivät seuraa normaali jakaumaa. Poisson-jakaumaa ei myöskään voi käyttää. Munien keskiarvo 0,05 ml näytettä kohti jää useimmiten alle 1 ja taulukot antavat luotettavuusraajat ainoastaan kokonaisluvuille. Jos esimerkiksi kahden lajin munien keskiarvot ovat 0,4 ja 0,5 otosta kohti samassa näytteessä ja luvut pyöristetään normaaliin tapaan lähimpään kokonaislukuun, saadaan kertomisten jälkeen, (joita joudutaan suorittamaan useita) edelliselle 0 - 12 505/1 ja jälkimmäiselle 86 - 18 887/1. Samat luvut saataisiin, jos edellisen alkuperäinen keskiarvo olisi 0,1/otos ja jälkimmäisen 1,4/otos. Lisäksi muiden kuin Diphyllbothrium-munien laskemisessa ei lukumäärää ole korjattu tuottoprosentilla, koska ei ole ollut mahdollista lisätä jokaista ajateltavissa olevaa lajia kohti värjättyjä munia.

5.27 J o h t o p ä ä t ö k s e t

Loisten munien lukumäärä lietteessä on varsin suuri. Lapamadon muna esiintyi lietteessä aina. Liete sisältää usein myös monien muiden loisten munia.

Munat seuraavat lietteen kiintoaineen kulkua ja säilyvät fysikaalisesti ehjinä stabiloinnissa ja kuivauksessa. Lietteeseen kuivaus kon-
sentroi lietteen munia pidättäessään suurimman osan kiintoaineesta.

Loisten munien suuri lukumäärä ei sellaisenaan merkitse, että liete olisi vaarallinen tartuntalähde, sillä munien elinkelpoisuutta ei pystytty tutkimaan. Munat menettävät joka tapauksessa elinkelpoisuuttaan ajan mittaan ja ulkoisten olosuhteiden muutosten johdosta. Lietteen hyötykäytössä olisikin huolehdittava siitä, etteivät loisten munat joudu väli-isäntien tai isäntien suolistoon elinkelpoisina. Tämä voidaan välttää valitsemalla oikeat työmenetelmät ja käyttämällä riittäviä varoaikoja.

5.3 VIRUKSET

Ihmisten ulosteet sisältävät runsaasti viruksia. Kuitenkin voidaan taudin kliinisiä oireita havaita vain noin joka 100 tai 1 000 tartunnan saaneella henkilöllä. Taudin puhkeamiseen tarvittava virusten lukumäärä on 1 - 1 000 000.

Tyypillistä viruksille on niiden pieni lukumäärä verrattuna vaikkapa kolimuotoisiin bakteereihin. Lukumäärien suhde jätevedessä on 1 : 1 000 000. Viruksia on siis varsin vaikea osoittaa luotettavasti lietenäytteistä. Virusten määrittäminen on muutenkin käytännössä hankala suorittaa.

Jäteveden puhdistuksessa virukset pienen kokonsa johdosta eivät konsentroidu lietteeseen samalla tavoin kuin muut patogeenit. Ne adsorboituvat kuitenkin jossain määrin lietepartikkeleihin. Maaperässä virukset saattavat niinkään adsorboitua maahiukkasiin, mutta saattavat myös irtautua niistä maaperän pH:n vaihteluissa. Virusten leviämistienä on puhdistetulla jätevedellä suurempi merkitys kuin lietteellä.

Viruksien merkitys tautivaaran aiheuttajina perustuu virusten kykyyn kestää ulkoisten olosuhteiden muutoksia verrattain hyvin ja niiden infektoimiskykyyn, joka on olennaisesti bakteereja suurempi. Virukset tuhoutuvat loisten munien tapaan herkimmin lämpökäsittelyssä. Lämpötilan on tällöin noustava yli 60°C /40, 49/.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää virusten esiintymisen yleisyyttä lietteessä ja stabilointimenetelmien vaikutusta siihen.

Virusmäärittysten suorittamisesta vastaasi Kansanterveyslaboratorion keskuslaboratorio.

5.31 Y l e i s i m m ä t v i r u k s e t

Jätevedessä yleisesti esiintyvät virukset voidaan ryhmitellä seuraavasti /49/.

Enterovirus	Poliovirus
	Echo virus
	Coxsackie virus A
	Coxsackie virus B
Reovirus	
Adenovirus	
Hepatitis virus	
Gastroenteritis virus	
Diarrhea virus	

5.32 T u t k i t u t p u h d i s t a m o t

Tutkimus suoritettiin samanaikaisesti bakteriologisten ja loisten munien tutkimuksien kanssa, joten puhdistamoiksi valittiin luvussa 5.14 esitetyt laitokset. Pienistä lahotusta käyttävistä puhdistamoista jätettiin kuitenkin kaksi pois kun osoittautui, että viruksia esiintyi vain suurilla laitoksilla. Puhdistamoiden lukumääräksi jäi siis kahdeksan.

Kaiken kaikkiaan tutkittiin 35 lietenäytettä. Lisäksi Turun keskuspuhdistamon lietteistä tutkittiin kerran paikan päällä neutraloidut lietenäytteet, jotta muutaman tunnin kestävän kuljetuksen aikainen korkea pH ja sen vaikutus viruksiin olisi eliminoitu.

5.33 T u t k i m u s m e n e t e l m ä t

Näytteet otettiin puhdistamolta steriloiduin välinein steriloituihin astioihin ja toimitettiin välittömästi analysoitavaksi. Näytteitä ei esikäsitelty lukuunottamatta em. Turun kolmea rinnakkaisnäytettä.

Lietteen pH säädettiin 1-N NaOH-liuoksena arvoon pH 9,5 ja lisättiin Hankin suolaliuokseen niin, että siinä oli lietettä 10-20 %. Näyte ravisteltiin perusteellisesti ja sentrifugoitiin. Erottunut liuos käsiteltiin kloroformilla ja siihen lisättiin antibiootit (penisil-

liini ja streptomysiini). Se siirrostettiin primäärisiin ihmisen Amnion-, Fibroblast-, GMK- ja Verosoluihin. Ravintoliuos vaihdettiin kerran 3-4 tunnissa toksisuus ефекtin välttämiseksi. Jokaisesta soluviljelmästä tehtiin jatkoviljely. CPE:n aiheuttavat virukset identifioitiin neutraloimalla antiseerumilla kuten tavallista /28/.

5.34 Tulokset

Puhdistamoittain esitetyt tulokset ovat liitteessä 13. Taulukkoon 17 on koottu lietteen stabilointimenetelmien mukaan ryhmitelty tulosten yhteenveto.

Tutkimusten neljä raakalietenäytettä yhdestätoista sisälsi viruksia. Yksikään kahdeksasta kalkkistabiloidusta lietteestä ei sisältänyt viruksia. Sen sijaan yksi neljästätoista mädätetystä näytteestä sisälsi viruksia. Lahotuksen vaikutuksesta ei tässä tutkimuksessa voitu saada tietoa.

Mielenkiintoinen ilmiö oli myös runsas bakteeri-infektio Turun lietteissä, mikä vaikeutti virustutkimuksia.

Taulukko 17. Yhteenveto positiivisista viruslöydöksistä eri liete-tyypeillä.

Table. 17. Summary of positive virus findings in sludges.

Liete	Sludge	Löydökset/näytteet Findings/Samples
Raaka	<i>Raw</i>	3/6
Mädätetty	<i>Anaer. digested</i>	0/3
" + kuivattu	" + <i>dewatered</i>	1/9
Raaka	<i>Raw</i>	0/2
Lahotettu	<i>Aerobically digested</i>	0/2
Raaka	<i>Raw</i>	1/3
Kalkkistabiloitu	<i>Lime stabilized</i>	0/4
" + kuivattu	" " + <i>dewatered</i>	0/4

5.35 J o h t o p ä ä t ö k s e t

Tutkimukset osoittavat, että viruksia esiintyy suomalaisissa raakalieteteissä suunnilleen yhtä paljon kuin ulkomaisessa kirjallisuudessa esitetään.

Tutkimuksen mukaan mädätetty liete voi sisältää viruksia. Kalkkistabiloitu liete ei tässä tapauksessa sisältänyt viruksia, mutta näyttemäärän huomioon ottaen ei tästä voi tehdä kovin pitkälle meneviä päätelmiä.

6. Y H T E E N V E T O

Lietteen stabilointiin liittyviä tutkimuksia tehtiin Suomessa vuosina 1974-1976 Euroopan teknologiayhteistyön lieteprojektiin COST-68 liittyen sekä erillisessä jatkoprojektissa. Tutkimusten tarkoituksena oli lietteen stabilointimenetelmien käyttökelpoisuuden arviointi, lietteen stabiilisuuden tutkiminen ja stabiloinnin vaikutusten selvittäminen lietteen laatuun maamme olosuhteissa.

6.1 STABILOINTIMENETELMIEN KÄYTTÖKOKEMUKSIA

Lietteen mädätyksen käyttökokemuksia saatiin Helsingin kaupungilta. Mädätyksen toiminnan todettiin vaihtelevan useiden parametrien kohdalla paljon niistä arvoista, joita käsikirjoissa esitetään. Poikkeamat johtuvat useimmiten jäteveden ja lietteen laadusta ja näiden vaihteluista, joille mädätys on varsin herkkä. Mädätetty liete ei aiheuta raakalietteen kaltaisia hajuongelmia ja se pienentää lietteen taudinaiheuttajien määrää. Mädätyksen edut liittyvät kuitenkin suurilla laitoksilla ennen kaikkea lietemäärän pienentämiseen ja energian tuottamiseen lietteestä. Pääomakustannukset mädätyksessä ovat muita stabilointimenetelmiä suuremmat. Käyttökustannusten suuruus riippuu prosessin onnistumisesta ja energian talteenotosta.

Lietteen lahotuksesta saatujen kokemusten mukaan meillä käytetyt lahotusajat ovat talviolosuhteita ajatellen niukat. Lahotettu liete on monessa tapauksessa osoittautunut vaikeasti kuivattavaksi. Lisäk-

si lahotuksen energiakustannukset muodostuvat usein varsin suuriksi pitkän viipymän johdosta, joten lahotusta ei voida suositella muille kuin aivan pienille laitoksille. Niillä se on perusteltavissa muita stabilointimenetelmiä yksinkertaisemman käytön ja hoidon johdosta. Lahotuksella voidaan hyvissä olosuhteissa pienentää lietemäärää samoin kuin mädätyksessä. Lahotuksen pääomakustannukset ovat pienemmät kuin mädätyksen.

Kalkkistabilointi sammutetulla kalkilla on muista stabilointimenetelmistä poikkeava kemiallinen ja tilapäinen prosessi. Käytön helpoudessa se sijoittuu mädätyksen ja lahotuksen väliin. Se on lietteen hyväksikäytön kannalta edullisin stabilointimenetelmä, koska kalkkia tavallisesti tarvitaan maanviljelyssä. Pääomakustannukset ovat kohtuulliset. Käyttökustannukset riippuvat kalkin annostelusta ja kalkin hinnasta.

6.2 LIETTEEN STABIILISUUS

Lietteen hajun mittaus ja stabiloinnin arviointi kaasukromatografilla ja siihen liitettyllä massaspektrometrillä ei osoittautunut mahdolliseksi. Erilaiset hiilivedyt ovat ominaisuuksiltaan niin toistensa kaltaisia, ettei niiden erottaminen toisistaan onnistu. Sitäpaitsi ihmisen hajuaisti toteaa useat kaasut jo niin alhaisina pitoisuuksina, että laitteiden mittausherkyys on riittämätön.

Lietteen stabilointia voidaan arvioida aivan yksinkertaisten laboratoriossa rutiiniksi muodostuneiden analyysien avulla. Tämä seikka todettiin selvästi kokeissa, joissa raakaa ja mädätettyä lietettä säilytettiin muutaman päivän ajan kahdessa eri lämpötilassa. Mikäli liete on biologisesti aktiivista ja epästabiilia, siinä tapahtuva biologinen hajoitustoiminta muuttaa nopeasti lietteen kemiallista koostumusta. Ilmiötä voidaan käyttää hyväksi lietteen stabiilisuuden arvostelussa. Parametrien valinta ja numeeristen arvojen esittäminen stabiilisuudelle ovat kuitenkin lietekohtaisia kysymyksiä. Kokeet osoittivat myös selvästi raakalietteen vanhenemisen vaikutukset. Lietteveden laatu ja lietteen kuivattavuus huononivat säilytysajan kassaessa selvästi.

COST 68 projektin stabiilisuutta koskevassa työskentelyssä päädyttiin lahotuksen ja kalkkistabiloinnin arviointimenetelmien esittämiseen. Lahotettaville lietteille on ominaista denitrifikaatiosta aiheutuva flotaatio tai nitraattien tai nitriittien esiintyminen. Kalkkistabiloinnin liete puolestaan on riittävästi stabiloitua, kun sen pH säilyy yli 11 kahden viikon ajan 20°C lämpötilassa.

6.3 KALKKISTABILOINTITUTKIMUS

Turun keskuspuhdistamon lietteellä tehdyissä tutkimuksissa todettiin, että kalkkistabilointia käytettäessä on kiinnitettävä huomiota kalkin annostelumäärään, tehokkaaseen sekoittamiseen ja lietteen säilymisolosuhteisiin stabiloinnin jälkeen. Mikäli pyritään vain määräaikaiseen hajuhaittojen vähentämiseen, voidaan kylmällä säällä käyttää oleellisesti pienempää annostusta kuin lämpiminä aikoina, jolloin lietteen oma biologinen aktiivisuus aiheuttaa nopean pH:n laskun. Mikäli biologinen liete halutaan pitää kalkkistabiloituna kaikissa olosuhteissa, jouduttaneen käyttämään yli 15 % kalkkiannostusta lietteen kuiva-aineeseen verrattuna.

Kalkkistabiloitu liete ei ole hajutonta, mutta sen aiheuttama ammoniakkin haju koetaan vähemmän epämiellyttäväksi kuin raakalietteen haju. Kalkkistabilointi lisää puhdistamon kuormitusta, sillä korkea pH aiheuttaa proteiinien pilkkoutumista, joka puolestaan johtaa happea kuluttavien aineiden ja ammoniakkitypen määrän lisääntymiseen lietevedessä noin kaksinkertaiseksi stabiloimattomaan lietteeseen verrattuna. Kalkkistabiloidusta ja kuivatusta lietteestä liukenee veteen enemmän orgaanista ainetta ja tyypeä kuin biologisesti stabiloiduista lietteistä.

Kalkkistabilointia käytettäessä on kiinnitettävä huomiota riittävän suureen annosteluun, sillä muuten menetetään hajun vähenemisen tuoma etu samalla kun puhdistamon kuormitus tarpeettomasti lisääntyy.

6.4 STABILOINNIN VAIKUTUS LIETTEEN KOOSTUMUKSEEN

Pääravinteiden määrät tutkittiin 29 puhdistamon lietteestä. Tutkimuksessa todettiin, että rinnakkaissaostus nostaa lietteen fosfori-

pitoisuuden noin kaksinkertaiseksi ja lisää täten lietteen hyväksikäyttöarvoa biologisiin lietteisiin verrattuna. Fosfori ei enää liukene takaisin lietevedeen päinvastoin kuin typpi ja orgaaninen aine, joiden määrät vähenevät kaikissa lietteen käsittelyn vaiheissa. Lietteen hyväksikäyttö kuitenkin tavallisesti helpottuu stabiloinnin jälkeen, joten näillä häviöillä ei liene kovin suurta merkitystä.

Tässä tutkimuksessa saadut lietteen pääravinteiden lukuarvot ovat kirjallisuustietoja pienemmät, mikä osoittaa, ettei käytännössä päästä mm. käyttöhäiriöiden johdosta teorian edellyttämiin tuloksiin. Suomalaisten lietteiden hyötykäyttöarvoa arvioitaessa on syytä käyttää tämän tutkimuksen tuloksia.

6.5 STABILOINNIN VAIKUTUS LIETTEEN TAUDINAIHEUTTAJIIN

6.51 Suolistobakteerit ja patogeeniset bakteerit

Lietteen suolistobakteerien ja patogeenisten bakteerien määriä tutkittiin kymmenellä puhdistamolla. Näistä kolmella on käytössä lietteen mädätys, neljällä lahotus ja kolmen puhdistamon lietteet tulkittiin kalkkistabiloiduiksi.

Mädätyksen vaikutusta lietteen bakteereihin on tutkittu muita stabilointimenetelmiä enemmän. Kirjallisuuden perusteella mädätyksen pitäisi olla suhteellisen tehokas salmonellojen vähentäjä. Mikäli salmonellojen lukumäärä ilmaistaan lietteen kuiva-ainegrammaa kohti, päästiin tässä tutkimuksessa suunnilleen kirjallisuustietoja vastaaviin vähenemiin. Mädätetyssä lietteessä oli kuitenkin vielä melkein aina jäljellä salmonelloja. Mädätyksen vaikutus koliformien- ja C. perfringensin pitoisuuksiin vastasi suunnilleen käytössä olleita kirjallisuustietoja.

Lahotuksen vaikutuksista lietteen bakteeripitoisuuteen löytyy vähemmän tietoa kuin muista stabilointimenetelmistä. Salmonellojen vähemmän pitäisi kuitenkin vastata mädätyksessä tapahtuvaa vähenemää. Lahotuksen vaikutuksen todettiin vaihtelevan varsin paljon puhdistamolta toiselle. Kahdella laitoksella vähenemä oli lähes odotetun

suuruinen. Kolmannella puhdistamolla ei tapahtunut vähenemistä. Neljännellä laitoksella näyttivät salmonellat suorastaan lisääntyvän lahotuksessa, mutta tämä johtunee sakokaivolietteen ajoittaisesta tyhjentämisestä puhdistamon tuloviemäriin. Salmonellojen pitoisuus kuiva-
tun lietteen kuiva-ainegrammaa kohti väheni stabiloinnissa, vaikka salmonelloja löydettiin lähes kaikista näytteistä. Lahotuksen vaikutuksen suolistobakteereihin pitäisi kirjallisuuden mukaan vastata mädätyksen tehoa. Todettu vaikutus koliformeihin ja C.perfringensiin oli kuitenkin kauttaaltaan huono tai merkityksetön.

Kalkkistabiloinnin pitäisi olla kirjallisuustietojen mukaan tehokas bakteerien vähentäjä, mikä todettiin myös tässä tutkimuksessa. Kaikki kalkkistabiloidut lietteet olivat vapaita salmonelloista, vaikka niitä oli kaikissa raakalietteissä. Kalkkistabilointi vähensi myös muita tutkittuja bakteereita paljon paremmin kuin muut stabilointimenetelmät. Kalkkistabiloinnin ylivoimaisuutta osoittaa myös se, että kaikki tutkitut lietteet eivät itseasiassa olleet kalkkistabiloituja, mikäli kriteerinä käytetään kalkkistabiloinnin määritelmää pH:n suhteen.

6.52 Loisten munat

Loisten munien lukumääriä tutkittiin samoista puhdistamoista kuin bakteereitakin. Tutkimuksen pääasiallisena kohteena oli Suomessa yleisen lapamadon Diphyllobothrium sp. munien tutkiminen, mutta myös muita havaittuja munia laskettiin. Tutkimus osoittaa oikeaksi epäilyt munien hyvästä fysikaalisesta säilymisestä lietteen stabiloinnissa ja kuivauksessa. Munien määrän minkäänlaista vähenemistä ei kyetty osoittamaan. Pitkälle meneviä johtopäätöksiä tartuntariskistä ei kuitenkaan voida tehdä näytteiden pienehkön lukumäärän (32), tutkimusmenetelmän aiheuttamien suurien virherajojen sekä elinkelpoisuustutkimuksen puuttumisen johdosta. Lietteen todettiin joka tapauksessa sisältävän varsin suuria määriä lapamadon munia ja muutamia muitakin ihmisen ja eläinten loisten munia.

6.53 V i r u k s e t

Virusten esiintymistä tutkittiin samojen puhdistamoiden lietteistä kuin bakteereitakin. Lietenäytteitä tutkittiin yhteensä 35. Virusten esiintyminen lietteissä vastaa suunnilleen kirjallisuudessa esitettyjä tietoja. Neljä raakalietenäytettä yhdestätoista sisälsi viruksia. Yhdestä mädätetystä lietteestä löytyi viruksia. Kalkki-stabiloiduista lietteistä niitä ei löydetty. Lahotuksen vaikutuksesta ei saatu tietoa.

6.6 TUTKIMUSTULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Näiden tutkimusten tuloksia on toimitettu COST 68 projektin käyttöön ja ne ovat osaltaan vaikuttaneet projektin työn tuloksiin ja raportteihin. Tuloksia voidaan käyttää hyväksi arvioitaessa erilaisen lietteen stabilointimenetelmien käyttökelpoisuutta puhdistamohankkeita toteutettaessa tai lietteen käsittelyratkaisuja uudistettaessa.

Tutkimustuloksia lietteen stabiloinnin vaikutuksista lietteen laatuun on jo käytetty YVY-projektissa aloitetussa lietteen hyväksikäytön yleissuunnittelutyössä, jonka perusteet on julkaistu sarjassa YVY-tutkimuksia, n:o 21. Lisäksi näitä tutkimustuloksia on käytetty eräänä lähtökohtana laadittaessa lietteen hyväksikäyttöä koskevaa ohjevihkosta "Jätevesiliete lannoitteeksi ja maanparannusaineeksi" sekä edelleen lääkintöhallituksen yleiskirjettä n:o 1637 "Ohjeet terveydellisten haittojen estämiseksi jätevesilietteitä hyödynnettäessä".

E N G L I S H S U M M A R Y

Studies dealing with sludge stabilization were conducted in Finland in 1974 - 1976 in connection with the project COST 68, Sludge Processing, which belonged to the European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research. Later on a separate Finnish project was set up to continue the work. The goal of these studies was to evaluate the application of stabilization methods, to look at the problem of sludge stability and to determine the effect of stabilization on sludge quality under Finnish conditions.

1. O P E R A T I N G E X P E R I E N C E O F S T A B I L I Z A T I O N

Operating experience of anaerobic digestion was collected from the City of Helsinki. The operation of digesters was found to differ with respect to many parameters from the values given in handbooks. Changes in the quality of waste water and sludge are most often the causes of these differences because digestion is sensitive to them. Digested sludge does not create the odour problems that raw sludge does and contains fewer pathogenic organisms. However the advantages of digestion at large treatment plants are more closely associated with the reduction of sludge quantity and the production of energy from sludge. The capital cost of digestion is higher than that of other stabilization methods. Operating costs depend on the success of digestion and the recovery of energy.

Experience gained from aerobic stabilization shows that detention in aeration is just about sufficient in winter conditions. Aerobically stabilized sludge has in many cases been difficult to dewater. Moreover, as the energy cost of aerobic stabilization is often rather high due to the long detention, such stabilization can only be recommended for very small treatment plants. In these plants it is justified because its operation and maintenance are simpler than these of other stabilization methods. Aerobic stabilization may reduce sludge quantity like anaerobic digestion, provided that the circumstances are favourable. The capital cost of

aerobic stabilization is smaller than that of digestion.

Lime stabilization with slaked lime differs from other stabilization methods, because it is chemical and temporary. It is between digestion and aerobic stabilization in ease of operation. As far as utilization in agriculture is concerned, it is the most advantageous method of stabilization, since lime is usually needed on Finnish farmland. The capital cost is moderate. The operating cost depends on the amount of lime and its price.

2. SLUDGE STABILITY

Measurement of the odorous compounds in sludge and the evaluation of stability using gas chromatography and mass spectrometry proved impossible. The properties of the various hydrocarbons are so much alike that they cannot be separated. Moreover, the human sense of smell is able to recognize many gases at such concentrations that the measuring range of the equipment is insufficient (table 3).

Sludge stability can be evaluated by quite simple routine, laboratory analysis. This fact was clearly demonstrated in tests where raw and digested sludge were stored for a few days at two different temperatures. If the sludge is biologically active and thus unstable, biological decomposition will rapidly change its chemical composition, and this can be used as an indicator of stability. However, the choice of parameters and the presentation of numerical values must be done separately for each sludge. The experiments also clearly demonstrated the phenomena of aging in raw sludge. Both the quality of the filtrate and the dewaterability of the sludge deteriorated greatly when storage time was prolonged (figures 10 - 12).

The COST 68 project presented agreed criteria for aerobically and lime-stabilized sludge but could not define suitable criteria for anaerobically stabilized sludge. Typical phenomena in aerobically stabilized sludge are the presence of nitrates or nitrites or flotation caused by denitrification. Lime stabilized sludge is

considered stable enough if its pH stays above 11 for two weeks at 20°C.

3. STUDIES OF LIME STABILIZATION

Experiments with sludge at the central treatment plant in Turku showed that attention has to be focused on the amount of lime added, on the effective mixing of lime, and on the storage conditions for lime-stabilized sludge. If the objective is to avoid odour problems only temporarily, it is possible to achieve remarkable savings of lime in cold weather compared with warm weather, when the biological activity of the sludge causes a rapid decrease in pH. If the biological sludge is to remain lime-stabilized under all conditions, a quantity of lime greater than 15 % of the sludge dry matter would seem necessary.

Lime-stabilized sludge is not odourless, although its typical ammonia odour is generally considered less offensive than the smell of raw sludge. Lime stabilization increases the load of waste water treatment because a high pH breaks down proteins. This leads to a twofold increase in the concentrations of oxygen-consuming matter and ammonia in sludge filtrate compared with raw sludge. More organic matter and nitrogen will dissolve from dewatered lime-stabilized sludge than from biologically stabilized sludge.

When using lime stabilization it is important to add sufficient amounts of lime. Otherwise the advantage of lime in reducing odours will be lost and the load of the treatment plant will be increased unnecessarily.

4. EFFECTS OF STABILIZATION ON THE COMPOSITION OF SLUDGE

The major nutrients contents were analyzed in sludges from 29 treatment plants. It was found that simultaneous precipitation approximately doubled the concentration of phosphorus in the sludge compared with biological sludge, thereby increasing the value of sludge as a fertilizer. In contrast to nitrogen and organic matter,

which are reduced in every step of sludge treatment, phosphorus does not further dissolve in sludge liquor. These losses, however, are not very significant, since sludge utilization is otherwise favoured by stabilization.

The numerical values of the major nutrients in sludge obtained in this investigation proved to be smaller than those given in the literature. This indicates that it is not possible to reach theoretical results in practice, for example because of process disturbances. It is advisable to use the results of this investigation in evaluating the utilization properties of Finnish sludges (tables 5 and 6) instead of those in previous publications.

6.5 EFFECT OF STABILIZATION ON SLUDGE PATHOGENS

6.51 Enteric and pathogenic bacteria

The numbers of enteric and pathogenic bacteria in sludge were investigated at ten treatment plants. Three used anaerobic digestion, four aerobic stabilization and the sludge from three plants was interpreted as lime-stabilized (tables 10 - 12).

The effect of anaerobic digestion has been studied more than that of other stabilization methods. According to the literature, digestion ought to be fairly effective in reducing salmonella. If the number of salmonella is given per one gram of total solids, this investigation indicates reductions comparable to the data in the literature. However, anaerobically digested sludge almost always contained salmonella.

The literature contains less material on the effect of aerobic stabilization on bacteria than on that of any other stabilization methods. The reduction in salmonella should anyway correspond to anaerobic digestion. The effect of aerobic stabilization was found to vary significantly from one plant to another. The reductions at two plants were almost those anticipated. The third plant showed no reduction. The fourth plant seemed to produce salmonella in aerobic

stabilization but this may be explained by addition of sludge from settling basins every now and then to the influent of the plant. The number of salmonella in dewatered sludge per gram of total solids was reduced, although they were detected in almost every sample. The effect of aerobic stabilization on enteric bacteria should be about the same as in anaerobic stabilization. The overall observed effect of aerobic stabilization on coliforms and C.perfringens was found to be poor or insignificant.

According to the literature, lime stabilization should be the most effective stabilization method, and this was also borne out by the investigation. All lime-stabilized sludges were free of salmonella, although all raw sludges contained them. Lime stabilization also reduced other investigated bacteria far more than other stabilization methods. The superiority of lime stabilization is even indicated by the fact that all sludges were not, in fact, lime-stabilized, if the definition of required pH in lime stabilization is used (tables 13 - 14).

6.52 W o r m e g g s

The number of worm eggs was investigated from the same treatment plant as the bacteria. Determinations were focused on the eggs of Diphyllbothrium sp., the most common parasite in Finland, but other eggs observed were also counted. The investigation confirms suspicions of good physical resistance of eggs to stabilization and dewatering. No reduction whatsoever in the number of eggs could be demonstrated, although far-reaching conclusions of the risk of contamination should be avoided due to the relatively small number of samples (32), extensive confidence limits of the determination method and lack of investigations on their vitality. In any case, the sludge was found to contain very large numbers on Diphyllbothrium sp. eggs, as well as the eggs of other human animal parasitic worms (table 16).

6.53 Viruses

The presence of viruses was investigated from the same treatment plants as bacteria. Altogether 35 sludge samples were analyzed. The presence of viruses in the sludge corresponds roughly to the information given in the literature. Four raw sludge samples out of eleven contained viruses and these were also detected in one digested sludge sample. Lime-stabilized sludges did not contain any viruses. The effect of aerobic stabilization was not determined (table 17).

6.6 UTILIZATION OF RESULTS

The results of these investigations have been made available to the COST 58 project and have had an influence on the results and reports of the project. The results can be used in predicting the usefulness of various stabilization methods in planning and constructing treatment plants or in renewing sludge treatment and the average quality of stabilized sludge.

The results of this investigation have already been used in a separate project "Planning of sludge utilization", which has published its basic work in no. 21 of the series "YVY-tutkimuksia", which includes an English summary. The results have also been used in preparation of a guideline leaflet entitled "Sewage sludge as a fertilizer and soil conditioner" (Finnish and Swedish originals) and in the circular of the National Board of Health, no. 1637 "Instructions for avoiding health hazards in sludge utilization" (Finnish and Swedish originals).

K I R J A L L I S U U S L U E T T E L O

- /1/ AKERS, W.L. 1959. The Effect of Sludge Age on the Autooxidation Rate of Long-term Aeration of Activated Sludge, Unpublished Master Thesis, University of Iowa.
- /2/ BARNHART, E.L. 1961. Application of Aerobic Digestion to Industrial Waste Treatment. 16th Purdue Industrial Waste Conference, May 1961.
- /3/ BRUNNER, G. 1952. Widerstandsfähigkeit von Enteritisebakterien von Klärschlammfäulnis und gegen das Eintrocknen in ausgefaulten Schlamm. Gesundheits - Ingenieur 73, 19.
- /4/ COST-project 68 Sewage Sludge Processing. 1975. Final Report of the Management Committee November 1975. EUCO/SP/48/75.
- /5/ COUNTS, C.A. & SCHUCKROW, A.J. 1975. Lime stabilized sludge: Its stability and effect on agricultural land. Environmental Protection Technology Series 670/2-75-012.
- /6/ DREIER, D.E. 1963. Aerobic Digestion of Solids, 18th Purdue Industrial Waste Conference, April 30, May 1 and 2.
- /7/ DOYLE, C.B. 1967. Effectiveness of high pH for destruction of pathogens in raw sludge filter cake. Journal Water Pollution Control Federation 39.
- /8/ EIKUM, A.S. 1973. Aerobic Stabilization of Primary and Mixed Primary/Chemical (Alum) Sludge. Norsk Institutt for Vannforskning.
- /9/ ERKOMAA, K., MÄKINEN, I & SANDMAN, O. 1977. Vesiviranomaisen ja julkisen valvonnan alaisten vesitutkimuslaitosten fysikaaliset ja kemialliset analyysimenetelmät. Vesihalitus, tiedotus 121.
- /10/ FARRELL, J.B., SMITH, J.E., HATHAWAY, S.W. & DEAN, R.B. 1974. Lime stabilization of primary sludges. Journal Water Pollution Control Federation 46, 1.
- /11/ FINDLAY, C.R. 1973 Salmonellae in sewage sludge. The Veterinary Record 93.
- /12/ FLINK, C-G. 1974. Stabiliseringsmetoder för kommunalt slam. TTK Diplomityö.

- /13/ FULLER, J.E. & LITSKY, W. 1950. Escherichia coli in digested sludge. Sewage and Industrial Wastes 22.
- /14/ GRIGORIEVA, L.V., KORCHAK, G.I., BONDARENKO, V.I. & BEY, T.V. 1968. Sanitary virological and bacteriological features of the sewage and soil in the suburbs of Kiev (venäjä). Gig. Sanit. 33, 9 (Ref. Water Pollution Abstracts 42).
- /15/ GRUNNET, K. 1970. Reduktion og spredning af salmonella ved passage gennem rensningsvorker og recipienter, Nordforsk Miljøvårdsekretariatet publikation 1970:1.
- /16/ HAGENRUD, K. 1969. Försök med salmonellainfektionerat röt slam i jord vid olika temperatur. Grundförbättring 22.
- /17/ HALES, D. 1974. Salmonellae in dried Sewage Sludge. Environmental health 83.
- /18/ HESS, E. & LOTT, G. 1971. Klärschlamm aus der Sicht des Veterinärhygienikers. Gas, Wasser, Abwasser 51, 2.
- /19/ HOVSENIUS, G. & VIGERUST, E. 1975. Avloppslam som jordförbättrings-, gödnings- och jordorsättningsmedel. Behandling og jordbruksanvendelse av kommunalt kloakkslam. Nordforsk Miljøvårdssekretariatet publikation 1975:3.
- /20/ IRGENS, R. & HALVORSON, H. 1965. Removal of plant nutrients by means of aerobic stabilization of sludge. Applied Microbiology 13.
- /21/ JAHKOLA, M. 1976. Kansanterveyslaboratorio Helsinki, Suullinen tiedonanto 15.3.1976.
- /22/ JAWORSKI, N., LAWTON, G.W. & ROHLICH, G.A. 1960. Aerobic Sludge Digestion. Conference on Biological Waste Treatment, Manhattan College, New York, April 20 - 22.
- /23/ Jätevesilietteen raskasmetalleista ja hygieenisistä määrityksistä Suomessa. Vesihallitus, tiedotus 112.
- /24/ KAILA, J., LATOSTENMAA, H., MONTONEN, I. & VIITASALO, I. 1973. Vesiensuojelulaboratorion lietteenkäsittelykokeita vuosina 1971 - 1972. Vesiensuojelulaboratorion tiedonantoja 5, No 6.

- /25/ KAMPELMACHER, E.H. & NOORE JANSEN, L.M. van 1972. Reduction of bacteria in sludge treatment, Journal Water Pollution Control Federation 44.
- /26/ KOUNTZ, R.R. & FORNEY, C. 1959. Metabolic energy balances in total oxidation activated sludge system. Sewage and Industrial Wastes 31 , 7.
- /27/ LANGLEY, H., McKINNEY, R. & CAMPBELL, H. 1959. Survival of Salmonella typhosa during anaerobic digestion. Sewage and Industrial Wastes 31.
- /28/ LAPINLEIMU, K. 1977. Kirjallinen tiedonanto.
- /29/ LATOSTENMAA, H., PEKONEN, E. & VIITASALO, I. 1974. Jätevesilietteiden hyväksikäyttötutkimuksia vesiensuojelulaboratoriossa vv 1969 - 73. Vesiensuojelulaboratorion tiedonantaja 6, No 3.
- /30/ LECLERC, H. & BROUZES, P. 1973. Sanitary aspects of sludge treatment. Water Research 7.
- /31/ McCARTY, P.L. & BRODERSEN, C.F. 1962. Theory of extended aeration activated sludge system. Journal Water Pollution Control Federation 34, 11.
- /32/ McCULLOCH, N.M. & EISELE, C.W. 1961. Experimental human salmonellosis. Journal of the Infectious Diseases 88.
- /33/ McKINNEY, R.E., LANGLEY, H.E. & TOMLINSON, H.D. 1958. Survival of Salmonella typhosa during anaerobic digestion 1. Experimental methods and highrate digester studies, Sewage and Industrial Wastes 30.
- /34/ MOLINA, J-A.E., BRAIDS, O.C., HINESLY, T.D. 1972. Observations on bactericidal properties of digested sewage sludge. Environmental Science & Technology 6.
- /35/ MÜLLER, W. & STRAUCH, D. 1969. Ist es sinnvoll aus hygienischen Gründen bei Faulräumen eine Verlängerung der Schlammfaulzeiten zu fordern. Gesundheits-Ingenieur 89.
- /36/ MÄÄTTÄ, R. 1973. Mikrobiologian luennot, Opintomoniste Helsingin Teknillinen Korkeakoulu.

- /37/ NIEMELÄ, S.I. & TIRRONEN, E.K. 1968. Suolistobakteerimääritysten luotettavuus. Vesi 1.
- /38/ NORHA, T. 1976. Määtys. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus 81-75.
- /39/ PAULSRUD, B. & EIKUM, A.S. 1975. Lime stabilization of sewage sludges. Water Research 9.
- /40/ PIKE, E.B. & CARRINGTON, E.C. 1978. The effect of conventional sludge treatment processes on pathogens. Utilization of sewage sludge on land. Water Research Centre. Conference paper No 13.
- /41/ Process design manual for sludge treatment and disposal. 1974. Environmental Protection Agency.
- /42/ PUOLANNE, J. 1974. Lietteen käsittely vesihuollon ongelmana. Vesitalous 15, 4.
- /43/ PUOLANNE, J. 1974. Lietteen stabilointi. Ammattienedistämislaitos, Viemärilaitoskurssi.
- /44/ PUOLANNE, J. 1976. Lietteiden käsittelyn terminologia ja lietetutkimus. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus 81 - 75.
- /45/ RANTASALO, I. 1967. Vesi tartunnan levittäjänä. Veden terveydellinen valvonta (moniste). Eläinlääkärihygieenikojen Yhdistys r.y., Vesien Suojelu ja Tutkimus r.y.
- /46/ RINNE, I. 1974. Lietteiden hyväksikäyttöön liittyvät hygieeniset haitat. Lietteiden hyväksikäytön tutkimustarve. SITRA, Sarja A No 23.
- /47/ ROSENGÅRD-EISENHARDT, A. 1974. Anaerobic Stabilization. A Contribution to the Meeting of COST 68/2. WABOLU Berlin 7. -9. October 1974.
- /48/ SEPPÄNEN, H. 1975. Lietteen biologiset ominaisuudet. Lietteen käyttö ja sijoitus. Vesiyhdistys r.y. Vesipäivät 1975.
- /49/ SEPPÄNEN, H. 1976. Patogeeniset mikrobit. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus 81 - 75.

- /50/ Silverstople 1970. Föredrag vid Slamdagen. Svenska Teknologföreningen, 15 oktober 1970.
- /51/ Socialstyrelsens slamkommitté. 1970. Slam som jordförbättringsmedel. Betänkande avgivet av Socialstyrelsens slamkommitté 1970.
- /52/ Stabilisering av slam med kalk. 1973. Delrapport Nr. 1. Norsk Institutt for Vannforskning.
- /53/ Stabilisering av slam med kalk. 1975. Delrapport Nr. 2. Norsk Institutt for Vannforskning.
- /54/ TRUBNICK, E.H. & MÜLLER, P.K. 1958. Sludge Dewatering Practice. Sewage and Industrial Wastes 30.
- /55/ TUKIA, A. 1976. Lietteén stabilointimenetelmien vaikutus koliformien, salmonellojen ja Clostridium perfringensin pitoisuuksiin. Diplomityö. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu. Kemian osasto.
- /56/ TULLANDER, V. 1972. Kalkningens inverkan på bakterier i avloppsvatten och slam. Föredrag vid Svenska Kalkföreningens vattenvårdsdag, Stockholm.
- /57/ ULMGREN, L. 1974. Sludge Characterization. Annual Report for COST-Project 68/2. Stockholm, December 1974.
- /58/ VAITTINEN, P. 1976. Kalkkistabilointi. Kunnallisten jätevesilietteiden käsittely. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus 81-75.
- /59/ VIEHL, K. 1949. Die Umsetzungen des Stickstoffs bei der biologischen Abwasserreinigung und bei der Schlammfaulung. Gesundheits Ingenieur 70, 21/22.
- /60/ VIRARAGHAVAN, T. 1965. Digesting sludge by aeration. Water Works and Wastes Engineering 2, 9.

Herttoniemen mädätystulokset 1972

Results of Herttoniemi Digestion Plant 1972

Kuorritus (kg org. ainetta/ mädättäessä m ³ .vrk) Load (kg organic matter/ cu. m of digestion tank.d)	Kaasun kehitys (m ³ kaasua/ kg org. ainetta) Gas production (cu. m. gas/kg organic matter)	Org. aineen reduktio (%) Reduction of organic matter (%)	Kaasun kehitys (m ³ kaasua/ kg hajonnutta org. ainetta) Gas production (cu. m. gas/ kg decomposed organic matter)	Mädättämön lämpötila (°C) Temperature in the diges- tion tanks (°C)	Mädättämön pH pH in the digestion tanks	
Tammikuu January	0,98	0,520	41,7	1,247	34,6	6,9
Helmikuu February	1,26	0,437	54,9	0,796	34,0	7,0
Maaliskuu March	1,27	0,392	63,1	0,621	35,4	7,0
Huhtikuu April	1,24	0,350	67,0	0,522	33,6	6,8
Toukokuu May	1,14	0,465	69,2	0,672	33,7	6,9
Kesäkuu June	0,76	0,605	49,8	1,215	34,0	6,9
Heinäkuu July	0,70	0,481	84,7	0,508	35,7	7,0
Elokuu August	1,30	0,373	68,2	0,547	35,1	6,8
Syyskuu September	1,24	0,410	71,6	0,573	34,6	6,8
Lokakuu October	1,02	0,541	38,7	1,398	35,4	6,8
Marraskuu November	0,88	0,473	68,5	0,691	35,2	7,0
Joulukuu December	1,02	0,349	69,8	0,500	35,1	6,9
Keskiarvot Mean values	1,07	0,450	62,3	0,779	34,7	6,9

Kyläsaaren mädätystulokset 1972

Results of Kyläsaari Digestion Plant 1972

	Kuormitus (kg org. ainetta/ mädättämö m ³ vrk) <i>Load</i> (kg organic matter/ cu. m of digestion tank.d)	Kaasun kehitys (m ³ kaasua/ kg org. ainetta) <i>Gas production</i> (cu. m. gas/kg organic matter)	Org. aineen reduktio (%) <i>Reduction of organic matter (%)</i>	Kaasun kehitys (m ³ kaasua/ kg hajonnutta) <i>Gas production</i> (cu. m. gas/ kg decomposed organic matter)	Mädättämön lämpötila (°C) <i>Temperature in the diges- tion tanks</i>	Mädättämön pH <i>pH in the digestion tank</i>
Tammikuu <i>January</i>	0,92	0,338	-	-	34,0	6,8
Helmiakuu <i>February</i>	2,93	0,133	73,9	0,180	35,0	6,8
Maaliskuu <i>March</i>	1,31	0,202	-	-	35,0	7,2
Huhtikuu <i>April</i>	1,21	0,126	55,2	0,228	34,0	6,8
Toukokuu <i>May</i>	1,12	0,289	51,1	0,566	34,8	6,9
Kesäkuu <i>June</i>	0,91	0,423	44,6	0,948	35,0	7,0
Heinäkuu <i>July</i>	1,36	0,210	48,0	0,438	34,0	6,9
Elokuu <i>August</i>	-	-	-	-	34,5	6,8
Syyskuu <i>September</i>	0,84	0,283	46,7	0,606	35,7	6,9
Lokakuu <i>October</i>	0,79	0,357	46,9	0,761	35,5	6,8
Marraskuu <i>November</i>	1,00	0,291	54,7	0,532	34,5	6,8
Joulukuu <i>December</i>	1,36	0,264	27,8	0,950	35,0	7,0
Keskiarvot <i>Mean values</i>	1,25	0,265	49,9	0,579	34,8	6,9

Viikin mädätystulokset 1972

Results of Viikki Digestion Plant 1972

Kuormitus (kg org. ainetta/ mädättämö m ² .vrk) Load (kg organic matter/ cu.m of digestion tank.d)	Kaasun kehitys (m ³ kaasua/ kg org. ainetta) Gas production (cu.m. gas/kg organic matter)	Org. aineen reduktio (%) Reduction of organic matter (%)	Kaasun kehitys (m ³ kaasua/ kg hajonnutta org. ainetta) Gas production (cu.m. gas/ kg decomposed organic matter)	Mädättämön lämpötila (°C) Temperature in the diges- tion tanks (°C)	Mädättämön pH pH in the digestion tanks
Tammikuu January	0,84	0,326	62,6	0,521	7,0
Helmikuu February	1,32	0,218	61,8	0,352	7,2
Maaliskuu March	1,83	0,148	80,7	0,183	7,2
Huhtikuu April	1,58	0,159	54,0	0,294	7,1
Toukokuu May	0,89	0,257	36,3	0,709	7,0
Kesäkuu June	0,63	0,311	53,2	0,584	7,0
Heinäkuu July	0,65	0,240	-	-	7,0
Elokuu August	0,57	0,281	-	-	7,1
Syyskuu September	0,83	0,201	33,3	0,605	7,0
Lokakuu October	0,89	0,232	31,4	0,739	7,0
Marraskuu November	-	-	-	-	7,0
Joulukuu December	0,90	0,377	40,2	0,938	7,1
Keskiarvot Mean values	0,99	0,250	50,4	0,547	7,1

Puhdistamo	pvm	Liette- tyyppi	Lietteen käsittely			TS %	Tuhka (% TS)	N (% TS)	P (% TS)	Na (% TS)	K (% TS)	Ca (% TS)
			Stab.	Kuivaus	Muu							
Askola	18.12.74	BK	PI			1,1	74	1,5	1,1	-	0,73	0,93
Espoo, Suomenoja	3.09.75	K	Ca			6,7	63	1,7	1,4	0,17	0,21	21
	8.01.75	M	Ca	IS		28	52	1,6	0,35	-	0,15	16
	3.09.75	K	Ca	Li		28	66	1,5	1,5	0,34	0,50	22
Helsinki, Herttoniemi	18.03.75	B	M	Li		17	39	3,3	1,3	-	0,25	2,3
" , Kyläsaari	30.10.74	B				4,7	37	3,4	1,4	-	0,46	2,4
	10.07.75	B				2,5	33	3,5	2,5	0,34	0,43	3,9
	27.10.75	B				3,0	34	4,0	2,3	0,32	0,40	4,0
	10.07.75	B	Mä			3,7	48	2,7	2,5	0,28	0,39	4,8
	27.10.75	B	Mä			3,5	42	3,0	1,6	0,38	0,38	4,0
	2.01.75	B	Mä	SN		18	55	2,7	1,9	-	0,48	3,1
	10.07.75	B	Mä	SN		17	48	2,9	2,3	0,16	0,30	4,4
	27.10.75	B	Mä	SN		18	43	3,4	1,4	0,15	0,31	3,7
	"	B	Mä	Li		14	43	3,3	1,5	0,18	0,30	3,6
" , Laajasalo	13.03.75	B	Mä			4,3	38	3,2	1,6	-	0,20	3,2
" , Lauttasaari	19.03.75	B	Mä			3,3	39	3,1	1,1	-	0,25	2,8
" , Rajasaari	12.03.75	B	Mä			3,0	44	2,8	1,2	-	0,45	3,1
" , Tali	11.12.74	BK				7,1	44	1,9	1,8	-	0,25	3,2
	19.08.75	BK				3,5	40	3,8	3,5	0,17	0,21	2,2
	"	BK	Mä			6,4	53	3,7	4,1	0,12	0,20	2,3
	2.01.75	BK	Mä	Li		25	57	2,1	2,8	-	0,25	1,9
	19.08.75	BK	Mä	Li		23	59	2,3	5,2	0,04	0,10	1,9
	"	BK	Mä	Li		27	50	2,9	4,3	0,04	0,15	2,3
" , Viikki	29.09.75	B				5,1	29	5,0	2,2	0,16	0,30	2,8
	10.11.75	B				5,2	22	5,5	1,4	0,18	0,33	2,0
	8.12.75	B				5,9	22	4,4	1,1	0,16	0,43	2,4
	29.09.75	BK	Mä			5,0	44	4,3	3,4	0,16	0,28	2,5

128

Liite 4a

Puhdistamo	pvm	Liette- tyyppi	Lietteen käsittely		TS %	Tuhka (% TS)	N (% TS)	P (% TS)	Na (% TS)	K (% TS)	Ca (% TS)
			Stab.	Kuivaus							
Helsinki, Viikki	10.11.75	B	Mä		3,7	43	6,9	3,0	0,32	0,50	3,4
	8.12.75	B	Mä		4,4	39	5,4	2,0	0,26	0,38	3,3
	11.03.75	B	Mä	SN	15	50	3,0	2,5	-	0,31	2,8
	29.09.75	BK	Mä	SN	14	44	3,6	4,5	0,59	0,23	2,2
	"	BK	Mä	SN	11	57	3,5	1,9	0,15	0,35	2,9
	10.11.75	B	Mä	SN	13	41	4,7	2,7	0,16	0,25	3,2
	"	B	Mä	SN	21	47	4,0	2,7	0,70	0,25	3,0
	8.12.75	B	Mä	SN	15	41	4,2	1,8	0,10	0,28	3,1
	10.03.75	B	Mä	KS	46	52	1,6	2,4	-	0,30	4,3
	"			L.käs.							
" , Vuosaari	20.01.75	BK			6,9	33	3,4	2,2	-	0,48	1,6
	"	BK			1,3	47	3,0	3,4	-	0,33	1,3
	21.07.75	BK			1,1	46	3,1	5,1	0,65	0,63	2,7
	"	BK	La		4,0	58	1,6	4,4	0,20	0,26	5,6
	20.01.75	BK			1,5	34	3,1	1,8	-	0,25	1,0
	"	BK	Ca	IS	15	43	3,2	2,0	-	0,38	16
	11.08.75	BK			0,7	43	4,2	3,2	0,54	0,50	8,1
	10.01.75	BK	La		2,8	57	2,9	2,4	-	0,55	1,2
	16.09.75	B			1,0	52	7,5	1,9	0,47	0,70	2,0
	17.11.75	B			1,6	47	4,5	1,9	0,30	0,58	1,7
" , Martti	6.01.75	B			1,8	45	4,6	2,0	0,32	0,42	1,0
	19.09.75	B + K	Ca		7,7	76	0,8	1,5	0,07	0,20	22
	17.11.75	B + K	Ca		7,1	74	1,4	1,5	0,07	0,25	15
	6.1.76	B + K	Ca		6,5	72	0,7	1,0	0,06	0,10	31
Jokioinen	11.08.75	BK			0,7	43	4,2	3,2	0,54	0,50	8,1
Kangasala	10.01.75	BK	La		2,8	57	2,9	2,4	-	0,55	1,2
Karjaa	16.09.75	B			1,0	52	7,5	1,9	0,47	0,70	2,0
	17.11.75	B			1,6	47	4,5	1,9	0,30	0,58	1,7
	6.01.75	B			1,8	45	4,6	2,0	0,32	0,42	1,0
	19.09.75	B + K	Ca		7,7	76	0,8	1,5	0,07	0,20	22
	17.11.75	B + K	Ca		7,1	74	1,4	1,5	0,07	0,25	15
	6.1.76	B + K	Ca		6,5	72	0,7	1,0	0,06	0,10	31

Puhdistamo	pvm	Liette- tyyppi	Lietteen käsittely		TS %	Tuhka (% TS)	N (% TS)	P (% TS)	Na (% TS)	K (% TS)	Ca (% TS)
			Stab.	Kuivaus							
Karjaa	16.09.75	B + K	Ca	SN	20	82	1,2	2,1	0,05	0,16	25
	17.11.75	B + K	Ca	SN	17	74	2,4	1,7	0,16	0,23	17
	6.01.76	B + K	Ca	SN	22	84	0,8	1,1	0,04	0,22	32
Kirkkonummi, Strömsby	5.08.75	BK			0,6	40	3,6	3,2	0,48	0,58	1,2
	4.11.75	BK			0,4	40	5,3	2,9	0,72	0,73	1,7
	16.12.75	BK			0,6	43	4,1	2,5	0,32	0,30	0,8
	5.08.75	BK	La		0,8	38	3,6	4,0	0,54	0,61	1,5
	4.11.75	BK	La		0,4	43	5,0	3,1	0,66	0,60	1,7
	16.12.75	BK	La		1,0	40	4,7	2,8	0,05	0,18	0,9
	5.08.75	BK	La	Li	11	39	3,3	3,4	0,6	0,62	5,6
	4.11.75	BK	La	Li	10	39	4,4	3,0	0,05	0,28	1,1
	16.12.75	BK	La	Li	19	43	4,2	3,2	0,22	0,38	1,1
"	8.01.75	B			0,2	24	4,3	1,3	-	0,70	1,8
Upinniemi	"	B			0,2	23	4,1	1,5	-	0,35	2,0
Lammi	13.10.75	BK			0,9	44	4,3	2,8	0,44	0,60	2,1
	"	BK	La		0,8	44	3,4	2,7	0,58	0,75	2,1
Nokia	13.01.75	BK	La		0,9	40	3,6	2,7	-	0,28	0,9
Nurmijärvi	20.01.75	BK	PI		5,1	46	3,0	1,4	-	0,55	1,0
Sahalahti	10.01.75	BK			0,7	26	3,7	7,4	-	0,13	0,9
Sipoo	29.07.75	BK			0,7	35	4,5	3,2	1,5	0,73	2,5
	15.01.75	BK	La		2,2	20	3,8	2,2	-	0,83	1,9
	29.07.75	BK	La		2,0	33	6,4	3,2	0,5	0,60	2,3
Tampere, Lentävänniemi	17.01.75	BK	La		1,5	17	3,0	1,9	-	0,33	1,5
, Rahola	"	BK	M		7,7	49	2,8	2,9	-	0,23	2,3
, Viinikanlahti	"	M		KS							
				L.käs.							

Puhdistamo	pvm	Liette- tyyppi	Lietteen käsittely		TS %	Tuhka (% TS)	N (% TS)	P (% TS)	Na (% TS)	K (% TS)	Ca (% TS)
			Stab.	Kuivaus							
Turku	16.10.75	B			6,0	47	3,7	1,5	0,27	0,33	12
	14.01.76	B			4,5	40	2,6	1,4	0,63	0,24	9,4
	16.10.75	B		Ca	8,6	64	2,3	1,3	0,12	0,20	20
	14.01.76	B		Ca	6,7	53	2,1	1,2	0,46	0,15	11
	13.01.75	B		Ca	26	73	1,0	0,4	-	0,25	25
	16.10.75	B		Ca	21	57	2,4	1,1	0,12	0,20	18
	14.01.76	B		Ca	19	65	1,4	1,0	0,17	0,15	22
	15.01.75	BK	PI		2,6	52	3,5	2,7	-	0,90	1,2
Tuusula, Kellokoski											
Ylöjärvi	13.01.75	BK	La		1,7	48	3,2	2,4	-	0,38	1,1

Tutkittujen lietteiden koostumus

Selityksiä

B	Biologinen puhdistus	KS	Kammiosuodatin
BK	Rinnakkaissaostus	Li	Linko
B + K	Jälkisaostus	Sn	Suotonauha
K	Suora saostus	L.käs.	Lämpökäsittely
M	Mekaaninen puhdistus		
Ca	Kalkkistabilointi		
La	Lahotus		
Mä	Mädätys		
PI	Pitkävilmastus		
IS	Imusuodatin		

Mädätystä käyttävien puhdistamoiden lietteiden bakteeripitoisuudet.

Puhdistamo	Lietteen kuiva- aine	Salmonellat		Koliformit			C. perfringens			
		tilavuus %	posit. rikas- usvil- jelmien osuus	kpl/gTS	+95% luot. väli	osuus raaka- lietteen pi- toisuudesta	kpl/gTS	+95% luot. väli	osuus raaka- lietteen pi- toisuudesta	
Puhdistamo A										
- raaka I	2,5	0/5	<2	93 x 10 ⁶	18 x 10 ⁶					
- mädätetty I	3,6	0/5	<1	19 x 10 ³	6 x 10 ³	2,0 x 10 ⁻⁴				
- kuivattu I	15,2	0/5	<0,3	40 x 10 ³	8 x 10 ³	4,3 x 10 ⁻⁴				
- raaka II	2,9	1/5	1	30 x 10 ⁶	8 x 10 ⁶		1,8 x 10 ⁶	0,6 x 10 ³	1,2 x 10 ⁻³	
- mädätetty II	3,3	0/5	<1	12 x 10 ³	5 x 10 ³	4,0 x 10 ⁻⁴	2,3 x 10 ³	2,3 x 10 ³	<7,2 x 10 ⁻⁴	
- kuivattu (suoton) II	16,6	1/5	0,3	55 x 10 ³	17 x 10 ³	18 x 10 ⁻⁴	<1,3 x 10 ³		<6,7 x 10 ⁻⁴	
- kuivattu (linko) II	23,4	3/5	0,7	32 x 10 ³	12 x 10 ³	1,1 x 10 ⁻³	<1,2 x 10 ³			
Puhdistamo B										
- raaka	3,5	2/5	2	3,7 x 10 ⁶	0,9 x 10 ⁶		54	108		
- mädätetty	5,9	1/5	0,6	<280		<7,6 x 10 ⁻⁵	<30		<0,56	
- kuivattu (linko)	25,8	0/5	<0,1	25 x 10 ³	8 x 10 ³	6,8 x 10 ⁻³	<7		<0,13	
- kuivattu (lava)	26,8	0/5	<0,2	440 x 10 ³	120 x 10 ³	0,12	13 x 10 ³	7 x 10 ³	240	
Puhdistamo C										
- raaka I	4,9	5/5	>3	47 x 10 ⁶	7 x 10 ⁶		12 x 10 ⁶	3 x 10 ⁶		
- mädätetty I	4,9	3/5	2	21 x 10 ³	5 x 10 ³	4,5 x 10 ⁻⁴	8,4 x 10 ³	3,4 x 10 ³	7 x 10 ⁻⁴	
- kuivattu (suoton) I	15,8	1/5	0,3	5,7 x 10 ³	1,7 x 10 ³	1,2 x 10 ⁻⁴	2,6 x 10 ³	1,2 x 10 ³	2 x 10 ⁻⁴	
- kuivattu (lava) I	19,6	1/5	0,2	2,6 x 10 ³	3,0 x 10 ³	5,5 x 10 ⁻⁵	1,7 x 10 ³	0,7 x 10 ³	1,4 x 10 ⁻⁴	
- raaka II	5,1	5/5	>4	5,6 x 10 ⁶	1,0 x 10 ⁶		1,7 x 10 ⁶	0,5 x 10 ⁶		
- mädätetty II	3,7	0/5	<1	6,6 x 10 ³	3,6 x 10 ³	1,1 x 10 ⁻³	5,6 x 10 ³	3,4 x 10 ³	3,3 x 10 ⁻³	
- kuivattu (suoton) II	12,0	1/5	0,3	11 x 10 ³	8 x 10 ³	2,0 x 10 ⁻³	11 x 10 ³	4 x 10 ³	6,5 x 10 ⁻³	
- kuivattu (lava) II	21,8	0/5	<0,2	16 x 10 ³	2 x 10 ³	2,9 x 10 ⁻³	0,9 x 10 ³	1,8 x 10 ³	5 x 10 ⁻⁴	
- raaka III	5,8	3/5	2	4,9 x 10 ⁶	0,8 x 10 ⁶		730 x 10 ³	100 x 10 ³		
- mädätetty III	4,3	2/5	2	42 x 10 ³	9 x 10 ³	8,6 x 10 ⁻³	32 x 10 ³	8 x 10 ³	0,044	
- kuivattu (lava) III	14,0	5/5	>1	30 x 10 ³	6 x 10 ³	6,1 x 10 ⁻³	43 x 10 ³	15 x 10 ³	0,059	

Lahotusta käytävien puhdistamoiden lietteiden bakteeripitoisuudet.

Puhdistamo	Lietteen kuiva- aine	Salmonellat		Koliiformit			C.perfringens		
		positi- vite- kustuvu- jelmien osuus	kpl/gTS	kpl/gTS	+95% luot. väli	osuus raa- kalietteen pitoisu- desta	kpl/gTS	+95% luot. väli	osuus raaka- lietteen pi- toisuudesta
Puhdistamo D	- raaka	1,1	< 3	54 x 10 ³	18 x 10 ³		< 150		
	- lahotettu	4,0	< 0,7	1,4 x 10 ³	1,4 x 10 ³	0,026	< 35		
Puhdistamo E	- raaka	0,66	< 4	230 x 10 ³	140 x 10 ³		200	400	
	- lahotettu	2,0	< 2	45 x 10 ³	13 x 10 ³	0,20	< 87		< 0,44
Puhdistamo F	- raaka	0,84	3	4,6 x 10 ⁶	0,6 x 10 ⁶		480 x 10 ³	180 x 10 ³	
	- lahotettu	0,79	3	2,1 x 10 ⁶	0,4 x 10 ⁶	0,45	< 280 x 10 ³		< 0,58
Puhdistamo G	- raaka I	0,65	< 4	< 2,1 x 10 ³			1,0 x 10 ³	0,9 x 10 ³	
	- lahotettu I	0,79	15	< 1,9 x 10 ³			960	850	0,96
	- kuivattu I	10,6	0,4	630 x 10 ³	210 x 10 ³	> 300	74 x 10 ³	24 x 10 ³	74
Puhdistamo H	- raaka II	0,35	< 6	< 3,2 x 10 ³			64 x 10 ³	9 x 10 ³	
	- lahotettu II	0,35	13	990 x 10 ³	120 x 10 ³		780 x 10 ³	100 x 10 ³	12
	- kuivattu II	11,0	> 2	1,4 x 10 ⁶	0,3 x 10 ⁶	> 440	190 x 10 ³	110 x 10 ³	3
Puhdistamo I	- raaka III	0,57	< 6	800 x 10 ³	300 x 10 ³		310 x 10 ³	60 x 10 ³	
	- lahotettu III	0,98	12	160 x 10 ³	30 x 10 ³	0,20	19 x 10 ³	11 x 10 ³	0,061
	- kuivattu III	19,2	0,9	810 x 10 ³	170 x 10 ³	1,01	320 x 10 ³	120 x 10 ³	1,03

Kalkkistabilointia käyttävien puhdistamoiden lietteiden bakteeripitoisuudet.

Puhdistamo	Lietteen kuiva- aine		Salmonellat		Koliformit			C.perfringens		
	tilavuus- % %	positi-ri- käsytus- viljel- mien osuus	kpl/gTS	kpl/gTS	+95% luot. väli	osuus raaka- lietteen pitoisuus- desta	kpl/gTS	+95% luot. väli	osuus raa- kalietteen pitoisuus- desta	
Puhdistamo H - stabiloitu - kuivattu	6,5	0/5	<0,6	11 x 10 ⁴	4 x 10 ⁴		<280			
	29,9	0/5	<0,2	7,5 x 10 ⁴	4,7 x 10 ⁴		<750			
	6,0	4/5	2	11 x 10 ⁶	1 x 10 ⁶		2,1 x 10 ⁶	0,5 x 10 ⁶		
	8,2	0/5	<0,4	<190		<1,7 x 10 ⁻⁵	<190		<9,0 x 10 ⁻⁵	
Puhdistamo I - raaka I - stabiloitu I - kuivattu I	23,8	0/5	<0,2	<80		<6,9 x 10 ⁻⁶	<80		<3,8 x 10 ⁻⁵	
	4,4	5/5	>4	510 x 10 ³	90 x 10 ³		<40			
	6,4	0/5	<0,7	17 x 10 ³	15 x 10 ³	0,032	<30			
	20,8	0/5	<0,4	<180		<3,6 x 10 ⁻⁴	<20			
Puhdistamo J - raaka I - stabiloitu I - kuivattu I	0,95	3/5	9	59 x 10 ⁴	6 x 10 ⁴		<1,5 x 10 ³			
	7,4	0/5	<0,5	<230		<3,9 x 10 ⁻⁴	<230			
	14,4	0/5	<0,3	1,4 x 10 ³	2,8 x 10 ³	0,002	<140			
- raaka II - stabiloitu II - kuivattu II	1,6	5/5	>10	90 x 10 ⁴	19 x 10 ⁴		24 x 10 ⁴	10 x 10 ⁴		
	3,8	0/5	<0,4	<200		<2,2 x 10 ⁻⁴	<20		<8,3 x 10 ⁻⁵	
	14,2	0/5	<0,3	<160		<1,7 x 10 ⁻⁴	310		1,3 x 10 ⁻³	
- raaka III - stabiloitu III - kuivattu III	1,9	5/5	>10	2,2 x 10 ⁶	0,3 x 10 ⁶		44 x 10 ⁴	13 x 10 ⁴		
	6,4	0/5	<0,4	<190		<8,6 x 10 ⁻⁵	<30		<6,8 x 10 ⁻⁵	
	15,2	0/5	<0,4	<80		<3,6 x 10 ⁻⁵	150		3,4 x 10 ⁻⁵	

Salmonella-serotyyppien esiintyminen puhdistamon lietteissä.

<u>Salmonella</u>	<u>Mädättämöt</u>						<u>Lahottamot</u>				<u>Kalkkistabilointi</u>				
	A	B	C				F	G			I		J		
	II	I	I	II	III		I	I	II	III	I	II	I	II	III
	R Ks Kl	R M	R M Ks Kla	R Ks	R M Kla	R L	L Kl	L Kl	L Kl	L Kl	R	R	R R	R R	R
<u>S. infantis</u>	x x	x	x x x	x	x		x	x	x	x	x	x			
<u>S. typhimurium</u>	x			x	x x		x		x	x	x	x	x x	x	x
<u>S. heidelberg</u>					x		x		x	x					x
<u>S. paratyphi B</u>					x		x		x	x					x
<u>S. agona</u>		x									x	x			
<u>S. coleypark</u>															
<u>S. enteritidis</u>		x													
<u>S. kottbus</u>															
<u>S. meleagridis</u>															
<u>S. bredeney</u>															
<u>S. anatum</u>						x									
<u>S. bovis-morbificans</u>															
<u>S. kapemba</u>															
<u>S. azteca</u>															

R = raakaliete

M = mädätetty liete

L = lahotettu liete

Ks = suotonauhalla kuivattu liete

Kl = lingolla kuivattu liete

Kla = lavaliete

Ei-salmonellat ja niiden esiintyminen jatkoviljelyalustoilla.

	Lukumäärä kpl	Sinialustalla kasvaneet kpl	Vismuttisulfiitti- alustalla kasva- neet kpl
<u>Pseudomonas aeruginosa</u>	24		24
<u>Klebsiella</u>	6	3	3
<u>Proteus</u>	4	2	2
<u>Escherichia coli</u>	1	1	
Tunnistamaton bakteeri	3		3
Yhteensä	38	6	32

LOISTEN ISÄNNISTÄ JA KEHITYKSESTÄ

1. P L A T Y H E L M I N T H E S1.1 TREMATODA

Fasciola hepatica: Esiintyy varsinkin lampaissa ja naudassa. Kehittyy infektiiviseen vaiheeseen Limnaea suvun etanoissa. Infektiiviset toukat esiintyvät usein kiinnittyneinä ruohonkorsiin. Munat, toukat etanoissa ja infektiiviset toukat saattavat selviytyä talven yli.

1.2 CESTODA

Diphyllobothrium latum (ihmisen lapamato): Muna kuoriutuu vedessä. Seuraava kehitysvaihe tapahtuu Cyclopsissa ja infektiiviseen vaiheeseen toukka kehittyy kalassa.

Taenia saginata: Kehittyy infektiiviseksi naudanlihassa. Lopullinen isäntä on ihminen.

2. N E M A T H E L M I N T H E S2.1 NEMATODA

Ascaris lumbricoides: Isännät ovat ihminen ja sika. Väliisäntiä ole ole. Munat ovat hyvin vastustuskykyisiä kuivan, kylmän ja kemikalien suhteen.

Ascaris equorum: Hevosloinen. Kehitys kuten A.lumbricoides.
Toxocara canis ja Toxocara cati: Tavallisia varsinkin nuorilla eläimillä. T.canis: koiralla, T.cati: kissalla.

Ascaridia galli: Tavallinen loismato kanoilla.

Enterobius vermicularis: Tavallinen lapsilla. Aiheuttaa kutinaa peräsuolen seudulla.

Heterakis gallinae: Esiintyy kanoilla.

Strongyloides sp.: Eri kotieläimillä. Maassa vapaasti elävä infektiivinen kehitysvaihe.

Strongylus sp.: Tavallinen hevosloinen. Ei kestä kuivuutta, paitsi jos munat ovat kehittyneet alkioasteelle. Maassa vapaasti elävä infektiivinen vaihe, joka usein kiinnittyy ruohonkorsiin. Infektiivinen vaihe saattaa elää 3 kk kosteassa ruohossa.

Oesophagostomum sp.: Lampailla ja naudoilla. Kehitys kuten Strongylus sp.

Ancylostoma caninum: Koirilla. Aiheuttaa vaikeaa anemiasa.

Uncinaria stenocephala: Etenkin turkiseläimillä.

Capillaria aerophila: Kanoilla keuhkoissa, virtsateissä ja suolissa.

Lapamadon (*Diphyllbothrium* sp.) munien pitoisuuden keskiarvo ja -virhe tutkituissa lietteissä.

Puhdistamo	Raaka	%TS	Munien keskiarvo \pm keskivirhe	
			Tilavuusyksikössä (kpl/l)	Kuiva-aineessa (kpl/gTS)
Kyläsaari	Raaka	3,0	10 100 \pm 3.180	336 \pm 106
	Mädätetty	3,5	13 600 \pm 4.240	388 \pm 121
	Kuivattu	16	41 600 \pm 5.870	260 \pm 37
Tali	Raaka	3,5	28 200 \pm 9.180	804 \pm 262
	Mädätetty	6,4	29 900 \pm 4.480	467 \pm 70
	Kuivattu	23	128 000 \pm 11.000	556 \pm 48
	Kuivattu	27	158 000 \pm 21.500	583 \pm 80
Viikki	Raaka	5,1	12 500 \pm 1.140	245 \pm 22
	Mädätetty	5	16 000 \pm 6.530	320 \pm 130
	Kuivattu	14	39 600 \pm 10.300	283 \pm 74
Hyvinkää	Raaka	1,1	6 790 \pm 2.910	617 \pm 265
Sipoo	Raaka	9,7	18 000 \pm 6.200	2 570 \pm 885
	Lahotettu	2	14 200 \pm 4.410	708 \pm 221
Kirkkonummi	Raaka	0,4	2 810 \pm 889	703 \pm 222
		0,6	3 410 \pm 379	568 \pm 63
	Lahotettu	0,4	9 170 \pm 3.080	2 290 \pm 770
	Kuivattu	1,0	7 690 \pm 549	769 \pm 55
		19	78 900 \pm 5.150	415 \pm 27
		19	191 000 \pm 42.800	1 000 \pm 225
Lammi	Raaka	0,9	4 530 \pm 1.440	504 \pm 160
	Lahotettu	0,8	4 180 \pm 456	522 \pm 57
Suomenoja	Kalkkistab.	6,7	7 890 \pm 1.440	118 \pm 21
	Kuivattu	28	65 200 \pm 11.900	233 \pm 42
Karjaa	Raaka	1,6	9 050 \pm 3.670	563 \pm 230
		1,8	10 500 \pm 2.360	586 \pm 131
	Kalkkistab.	7,1	14 000 \pm 5.730	198 \pm 81
		6,5	18 800 \pm 18.800	288 \pm 288
	Kuivattu	17	30 000 \pm 10.800	176 \pm 64
		22	8 330 \pm 5.100	38 \pm 23
Turku	Raaka	4,4	2 500 \pm 1.170	57 \pm 27
	Kalkkistab.	6,6	17 400 \pm 8.450	264 \pm 128
	Kuivattu	19	41 800 \pm 27.800	220 \pm 147

Mädätystä käytettävien puhdistamoiden lietteestä löydettyt muut kuin Diphyllobothrium sp. munat.

Puhdistamo	Liete	kpl/0,5 ml
Kyläsaari	raaka	<u>Strongylus sp. 1</u>
		<u>Ascaridia galli 1</u>
	mädätetty	<u>Uncinaria stenocephala 1</u>
		<u>Enterobius vermicularis 1</u>
		<u>Toxocara sp. 1</u>
	kuivattu	<u>Strongylus sp. 1</u>
		<u>Strongyloides sp. 1</u>
Tali	mädätetty	<u>Ancylostoma caninum 1</u>
		<u>Fasciola hepatica 2</u>
	lingolla kuivattu	<u>Fasciola hepatica 2</u>
		<u>Ascaris lumbricoides 1</u>
	kuiv., kasa	<u>Ascaris lumbricoides 1</u>
Viikki	mädätetty	<u>Strongylus sp. 1</u>
		<u>Uncinaria stenocephala 1</u>

Lahotusta käyttävien puhdistamoiden lietteistä löydetyt muut kuin Diphyllbothrium sp. münat

Puhdistamo	Liete	kpl/0,5 ml
Sipoo	raaka	<u>Toxocara sp.</u> 6 <u>Fasciola hepatica</u> 1
Kirkkonummi	raaka	<u>Toxocara sp.</u> 1
	lahotettu	<u>Uncinaria stenocephala</u> 1 <u>Toxocara sp.</u> 1 <u>Ascaris equorum</u> 1
	kuivattu	<u>Taenia saginata</u> 3 <u>Strongyloides sp.</u> 18 <u>Strongylus sp.</u> 2 <u>Toxocara sp.</u> 1 <u>Ascaris lumbricoides</u> 1
Lammi	raaka	<u>Strongyloides sp.</u> 5 <u>Taenia saginata</u> 1 <u>Toxocara sp.</u> 2
	lahotettu	<u>Ascaris lumbricoides</u> 1

Kalkkistabilointia käyttävien puhdistamoiden lietteestä löydettyt muut kuin Diphyllobothrium sp. munat.

Puhdistamo	Liete	kpl/0,5 ml
Suomenoja	raaka	<u>Toxocara cati</u> 1
		<u>Ascaris lumbricoides</u> 1
	kuivattu	<u>Strongylus sp.</u> 1
		<u>Capillaria aerophila</u> 1
Karjaa	raaka	<u>Heterakis gallinae</u> 1
Turku	raaka	<u>Strongyloides sp.</u> 2
		<u>Ascaris lumbricoides</u> 2

Lietteiden virologiset löydökset

Puhdistamo	Liete	Näytt. lukum.	Posit. löydökset	Huom.
Kyläsaari	raaka	2	-	
	mädätetty	2	-	
	kuivattu	3	-	
Tali	raaka	2	1	Echo 3
	mädätetty	2	-	
	kuivattu	3	1	Coxsackie B 5
Viikki	raaka	2	2	Echo 6, Coxsackie B 3
	mädätetty	2	-	
	kuivattu	2	-	
Lammi	raaka	1	-	
	lahotettu	1	-	
Sipoo	raaka	1	-	
	lahotettu	1	-	
Karjaa	raaka	1	-	
	kalkkistab.	1	-	
	kuivattu	1	-	
Suomenoja	kalkkistab.	1	-	
	kuivattu	1	-	
Turku	raaka	2	1	Adeno 3
	kalkkistab.	2	-	*)
	kuivattu	2	-	*)

*) Runsa bakteeri-infektio vaikeutti virustutkimusta